



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ENERGETICKÝ ÚSTAV

ENERGY INSTITUTE

KOGENERAČNÍ JEDNOTKY PRO RODINNÉ DOMY

COGENERATION UNITS FOR FAMILY HOUSES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Michal Pekárek

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Petr Kracík, Ph.D.

BRNO 2019

Zadání bakalářské práce

Ústav: Energetický ústav
Student: **Michal Pekárek**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Petr Kracík, Ph.D.**
Akademický rok: 2018/19

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Kogenerační jednotky pro rodinné domy

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Kogenerace neboli společná výroba tepla a elektřiny je ve velké energetice již standardem. U malých zdrojů (mikro) použitelných v rodinných domech dochází k velkému rozmachu společně s rozvojem tzv. „Smart cities“. Náplní práce je popsat základní koncepce mikrokogeneračních jednotek o jmenovitém elektrickém výkonu v řádech jednotek kilowattů elektrických (kWe) a pro zvolený rodinný dům nebo rekreační objekt navrhnout ucelený systém.

Cíle bakalářské práce:

- popište základní koncepce mikrokogeneračních jednotek o výkonech do cca 10 kWe
- popište základní právní rámce, které musí být splněny pro instalaci mikrokogenerační jednotky
- proveďte základní návrh systému s mikrokogenerační jednotkou pro RD či rekreační objekt

Seznam doporučené literatury:

DVORSKÝ, E. a P. HEJTMÁNKOVÁ. Kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie. Praha: BEN - technická literatura, 2005, 281 s. ISBN 80-7300-118-7.

KRBEK J, OCHRANA L. a B. POLESNÝ. Zásobování teplem a kogenerace. Vyd. 1. Brno: PC-DIR Real; 1999.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

.....
doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.
ředitel ústavu

.....
doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Hlavním cílem této bakalářská práce je základní návrh kogenerační jednotky pro rodinný dům. Práce je rozdělena na 3 části. V první části je přehled vhodných kogeneračních jednotek. U každé technologie je krátký popis a uvedení výhod a nevýhod. Na základě těchto informací byly zvoleny nejvhodnější technologie pro realizaci v rodinných domech či rekreačních objektech, a to mikrokogenerační jednotky se spalovacím motorem, strilingovým motorem nebo palivovými články. Druhá část je zaměřena na popis základních právních rámců, které musí být splněny při instalaci mikrokogeneračních jednotek. V poslední části byl vybrán rodinný dům s tepelnou ztrátou 12,4 kW. Množství tepla, které musíme dodat na vytápění a ohřev TUV, bylo stanoveno na 41,7 MWh. Roční spotřeba elektřiny je 3,15 MWh, která byla odečtena z faktury za rok 2017/18. Na základě vstupních parametrů jsou provedeny tři návrhy kogeneračních systému. Pro jednotlivé návrhy jsou vypočítány veškeré náklady a výnosy spojené s instalací i provozem. V závěru práce jsou porovnány jednotlivé varianty se původním stavem dodávky energií do rodinného domu.

Klíčová slova

Kogenerace, mikrokogenerační jednotka, kombinovaná výroba elektřiny a tepla, Stirlingův motor, spalovací motor, palivové články

ABSTRACT

The scope of this bachelor's thesis is basic design cogeneration unit in family house. The work is divided into three parts. The first part includes a summary of suitable cogeneration units. For each technology is mentioned short description with advantages and disadvantages. Based on this information was made a conclusion, that the most suitable microcogeneration units are with combustion engine, Stirling engine and fuel cells. This section focuses on legal requirements, which are connected with the application in family houses. The last section deals with the application in a specific family house. Heat loss of family house is 12,4 kW, amount of heat we have to provide for heating and warm water is 41,7 MWh and during the year was used 3,15 MWh of electricity. We have decided to design three different variations, all traffic-related cost and revenues are calculated for each design. In conclusion, they are compared with original state of energy supply to the family house.

Key words

Cogeneration, microcogeneration unit, combined heat and power, Stirling engine, combustion engine, feul cells

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

PEKÁREK, Michal. *Kogenerační jednotky pro rodinné domy* [online]. Brno, 2019 [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/115893>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Energetický ústav. Vedoucí práce Petr Kracík.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Kogenerační jednotky pro rodinné domy vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum

Jméno a příjmení

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto Ing. Petrovi Kracíkovi Ph.D. za cenné připomínky a rady, které mi poskytl při psaní mé bakalářské práce.

Obsah

| | |
|--|----|
| ÚVOD..... | 15 |
| 1. KOGENERACE | 16 |
| 1.1 Výhody a nevýhody kogenerace | 16 |
| 1.2 Rozdělení kogeneračních systémů | 17 |
| 1.3 Rozdělení a druhy kogeneračních technologií | 17 |
| 1.3.1 Stirlingův motor | 19 |
| 1.3.2 Parní turbína | 21 |
| 1.3.3 Organický Rankinův cyklus | 22 |
| 1.3.4 Plynová turbína | 23 |
| 1.3.5 Paroplynový cyklus | 24 |
| 1.3.6 Mikroturbína | 25 |
| 1.3.7 Spalovací motory | 26 |
| 1.3.8 Palivové články | 27 |
| 2. POSTUP PŘI ZŘIZOVÁNÍ MIKROKOGENERAČNÍ JEDNOTKY | 30 |
| 3. ZÁKLADNÍ NÁVRH KOGENERAČNÍ JEDNOTKY PRO RODINNÝ DŮM | 32 |
| 3.1 Popis objektu | 32 |
| 3.2 Stanovení délky topné sezóny | 32 |
| 3.3 Spotřeba energií RD | 32 |
| 3.4 Ekonomické posouzení investice | 34 |
| 3.5 Roční diagram trvání potřeb tepla | 34 |
| 3.6 Volba akumulární nádrže | 36 |
| 3.7 Návrh jednotky – Varianta A | 36 |
| 3.7.1 Investiční náklady na pořízení a instalaci KJ | 38 |
| 3.7.2 Náklady na provoz KJ | 38 |
| 3.7.3 Náklady na provoz záložního zdroje | 39 |
| 3.7.4 Úspory během provozu KJ | 40 |
| 3.7.5 Zisky z provozu KJ | 40 |
| 3.7.6 Ekonomie provozu KJ | 41 |
| 3.8 Návrh jednotky – Varianta B | 42 |
| 3.8.1 Množství vyrobené energie v KJ | 43 |
| 3.8.2 Investiční náklady na pořízení a instalaci KJ | 44 |
| 3.8.3 Náklady na provoz KJ | 44 |
| 3.8.4 Náklady na provoz záložního zdroje | 45 |
| 3.8.5 Úspory během provozu KJ | 46 |
| 3.8.6 Zisky z provozu KJ | 46 |
| 3.8.7 Ekonomie provozu KJ | 47 |
| 3.9 Návrh jednotky – Varianta C | 48 |
| 3.9.1 Množství vyrobené energie v KJ | 49 |
| 3.9.2 Investiční náklady na pořízení a instalaci KJ | 49 |
| 3.9.3 Náklady na provoz KJ | 50 |
| 3.9.4 Náklady na provoz záložního zdroje | 50 |
| 3.9.5 Úspory během provozu KJ | 51 |
| 3.9.6 Zisky z provozu KJ | 52 |
| 3.9.7 Ekonomie provozu KJ | 52 |

| | | |
|--|-------------------------------------|----|
| 3.10 | Zhodnocení navržených systémů | 54 |
| 4. | ZÁVĚR | 56 |
| 5. | Citovaná literatura..... | 57 |
| SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK | | 60 |
| SEZNAM PŘÍLOH..... | | 62 |

ÚVOD

Každoroční růst energií a zvyšování cen vedou podniky, ale i vlastníky těch nejmenších objektů k tomu, aby hledali alternativní zdroje energií. Jedním z takových zdrojů je kombinovaná výroba elektřiny a tepla (KVET) neboli kogenerace. Jedná se o efektivní a především ekologicky šetrný způsob výroby elektřiny, při kterém, jak již název napovídá, dochází současně k výrobě tepla. Při klasické výrobě elektřiny se účinnost pohybuje v rozmezí 20-43%, u moderních kogeneračních technologií účinnost často přesahuje 90%. Vysokou účinností je docíleno efektivnějšího využití primárního paliva.

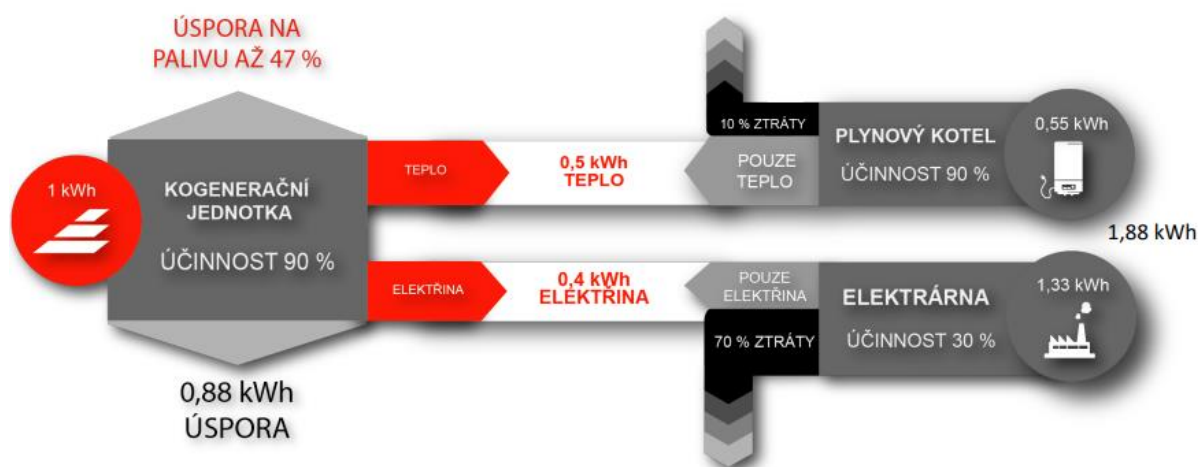
Kvůli vysoké ceně byla využívána pouze velká centralizovaná kogenerace, tzv. teplárství. Díky technologickým pokrokům v energetice se za posledních několik let stala dostupnější i decentralizovaná kogenerace. Při umístění zdroje do blízkosti zásobovaného objektu odpadají ztráty tepla v rozvodech a sítích. V dnešní době se můžeme setkat s komerčními jednotkami o výkonu 1 kW_e až po jednotky s výkonem řádově stovek MW_e. Díky širokému výkonovému rozsahu se kogenerační jednotky dají použít pro dodávku elektřiny a tepla pro velké průmyslové haly ale i pro domy a rekreační objekty.

Cílem této bakalářské práce je popsat základní koncepce kogeneračních zařízení vhodných pro rodinný dům o jmenovitém výkonu v řádech jednotek kilowattů. Pro jednotlivé technologie uvést výhody a nevýhody. Provést průzkum právních náležitostí, které musí být splněny při instalaci mikrokogenerační jednotky v rodinném domě.

Praktická část bude změřena na návrh několika možných variant pokrytí spotřeby energií pro zvolený rodinný dům. Provést ekonomické zhodnocení jednotlivých návrhů a ty pak porovnat s původním stavem.

1. KOGENERACE

Kogenerační zařízení je zdrojem energií, při kterém dochází k výrobě dvou odlišných forem energie z jednoho druhu paliva. A to například mechanické práce, elektřiny, tepla či chladu. Mechanická práce se používá pro pohon zařízení, jako například generátoru, ve kterém se vyrábí elektřina, nebo pro pohon rotačního stroje, jako například čerpadla, kompresoru a podobně. Teplo může být získáváno ze spalín spalovacího zařízení, či jiného teplotnosného média, například vody, nebo oleje, které odvádí teplo z motoru, které by bylo za normálních okolností mařeno do okolí. Takto odvedené teplo může být využito pro ohřev teplé užitkové vody (TUV), vytápění, technologické potřeby nebo chlazení. Z toho důvodu dochází k vyššímu využití primárního paliva a zároveň účinnost těchto jednotek dosahuje v některých případech i 95%. [1]



Obr. 1.1: Porovnání oddělené a kogenerační výroby [2]

Na obrázku 1.1 je uvedeno porovnání oddělené výroby s kombinovanou výrobou elektřiny a tepla (KVET). Z obrázku lze vyčíst, že při oddělené výrobě je účinnost elektrického zdroje kolem 30% a tepelného okolo 90%. Při KVET je účinnost až 95%, z čehož vyplývá, že při KVET lze dosáhnout úspory paliva až 47%. S úsporou paliva úzce souvisí množství emisí vypouštěných do ovzduší. [1] [3]

Palivo, které se u kogenerace používá k získání potřebné energie, lze rozdělit do mnoha skupin a podle různých kritérií. Nejzákladnější rozdělení je dle skupenství: paliva pevná, kapalná, plynná. Mezi paliva pevná patří uhlí, dřevo, brikety, štěpky, biomasa a další. Do skupiny kapalných paliv se řadí těžké topné oleje, methanol, ethanol, plynové oleje. Do skupiny plyných paliv patří zemní plyn, propan, butan, propan-butan, bioplyn, vysokopecní plyn.

1.1 Výhody a nevýhody kogenerace

Mezi hlavní výhody kogeneračních jednotek (KJ) patří vysoká účinnost až 95%, dochází k vyššímu využití primárních zdrojů a tím pádem i ke snížení nákladů. Menší množství spotřebovaného paliva má pozitivní vliv na celkové množství vzniklých emisí (SO_x , NO_x , CO_x , ale i tuhých částic). Při decentralizované zásobě teplem (DZT) dojde ke snížení ztrát přenosem a distribucí. Pokud KJ vyrobí větší množství elektřiny, které se v objektu nespotřebuje, můžou se přebytky prodat do sítě. V zimním období je možné KJ využívat pro vytápění a v letních měsících pro chlazení. [4]

Jako nevýhodu KJ je třeba uvést poměrně velké investiční náklady vzhledem k běžným zdrojům tepla. Další problém je spojen s návratností investice, která je závislá na využívání tepla. Projektant musí mít dobrou představu o spotřebě energií, aby byl schopen určit návratnost finančního vkladu, která je pro většinu investorů hlavním faktorem.

Systémy pro zásobování tepla lze rozdělit na centralizovanou zásobu teplem (CZT) a decentralizovanou zásobu teplem (DZT). U soustavy CZT, dochází k dodávce tepla z centrálního zdroje (teplárny), teplo z tepláren je pomocí rozvodných sítí (parovody, horkovody, teplovody) dopraveno do předávacích stanic, kde se následně upraví na požadované parametry a dále pokračuje až ke spotřebiteli.

Opakem CZT je decentralizovaná zásoba teplem, která je umístěna přímo nebo v bezprostřední blízkosti zásobovaného objektu. Tím odpadají dlouhé a složité rozvody potrubí, které mají vysoké tepelné ztráty. [5]

Efektivnost kombinované výroby elektřiny a tepla lze popsat teplárenským modulem $[\sigma]$, který udává poměr vyrobené elektřiny k poměru dodaného tepla do CZT za určité časové období. viz. rovnice (1.1). [6]

$$\sigma = \frac{E_{KVET}}{Q_{KVET}} [-] \quad (1.1)$$

Kde: σ – Modul teplárenské výroby

E_{KVET} – Vyrobená elektřina při KVET

Q_{KVET} – Vyrobené teplo při KVET

1.2 Rozdělení kogeneračních systémů

Jeden ze způsobů, jak rozdělit kogenerační jednotky je podle druhu systému:

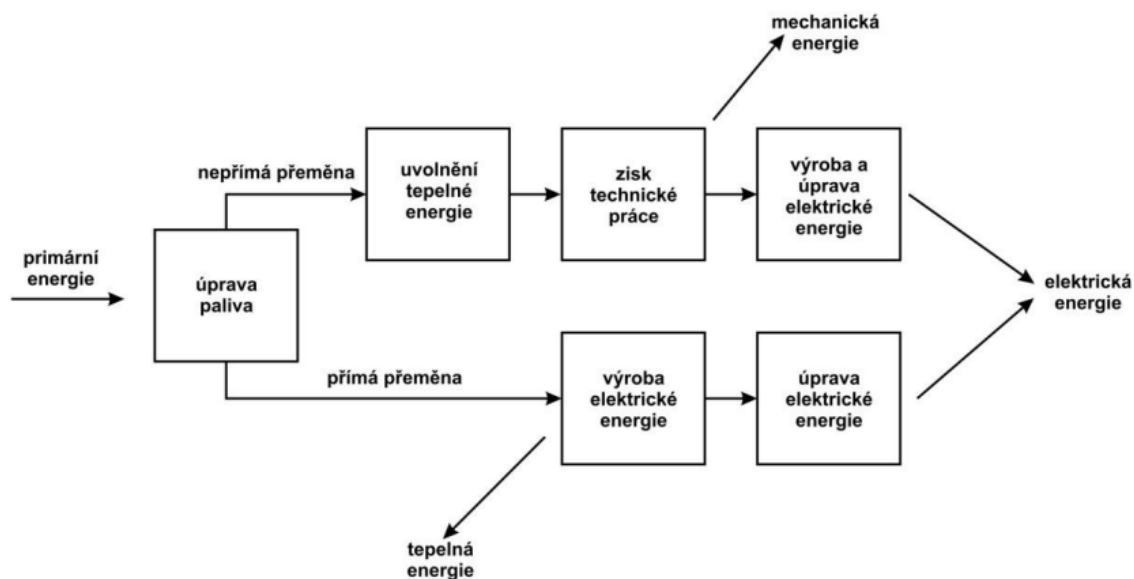
Horní kogenerační systémy dávají přednost výrobě tepelné energie před elektrickou. Tepelná energie o vysokých parametrech je využívána pro různé technologické procesy v průmyslu, následně je odpadní teplo využito pro výrobu elektrické energie. [7]

Dolní kogenerační systémy na rozdíl od horních kogeneračních systémů se nejdříve vyrábí elektrická energie a z odpadního tepla se získá energie tepelná. Dolní kogenerační systémy se využívají častěji, protože pro efektivní zisk technické práce a následně elektrické energie je potřeba vysoká vstupní teplota do tepelného oběhu. [7]

1.3 Rozdělení a druhy kogeneračních technologií

Kogenerační jednotka se skládá ze 4 základních částí: **primární jednotky, elektrického alternátoru** (elektrický generátor) včetně zařízení pro připojení na spotřebitelskou a veřejnou síť, **výměníku tepla** včetně propojení na tepelné rozvodné sítě, **kontrolního a řídicího systému**. [8]

Primární jednotka (PJ) je nejdůležitějším prvkem KJ. Dochází zde k uvolnění energie, která je obsažená v palivu. Energie z paliva se přemění na mechanickou práci a teplo. Primární jednotky lze rozdělit podle počtu transformačních kroků nutných k výrobě elektřiny na přímý a nepřímý způsob transformace. U nepřímé transformace dochází k přeměně energie ve více transformačních krocích. Jako první dochází k uvolnění tepelné energie, která je obsažená v palivu. Tepelná energie vykoná mechanickou práci, kterou je poháněn elektrický generátor. Při přímé transformaci dochází k přeměně energie obsažené v palivu přímo na energii elektrickou. [9]



Obr. 1.2. Transformace primární energie v kogenerační jednotce [9]

Druhy primárních jednotek využívající přímého a nepřímého způsobu transformace:

- Přímý způsob transformace
 - palivové články
- Nepřímý způsob transformace
 - S vnějším spalováním:
 - Stirlingův motor
 - Organický Rankinův cyklus (ORC)
 - Spalovací turbína
 - Parní turbína
 - Mikroturbína
 - Paroplynový cyklus
 - S vnitřním spalováním:
 - Spalovací motory

Tab.1.1. Vlastnosti jednotlivých primárních jednotek [10] [11]

| Typ PJ | Elektrický výkon | Elektrická účinnost [%] | Používané palivo |
|-----------------|--------------------|-------------------------|---|
| | [MW _e] | P _E | [-] |
| Palivové články | 0,005-2 | 40-65 | zemní plyn, LPG, bioplyn, plynné odpady |
| Parní turbína | 0,05-400 | 20-30 | libovolné |
| ORC | 0,15-10 | 20-30 | biomasa, nízko potenciální zdroje tepla |

Tab.1.1. Vlastnosti jednotlivých primárních jednotek [10] [11] - pokračování

| | | | |
|--------------------|------------|-------|---|
| Plynová turbína | 0,2-500 | 25-40 | zemní plyn, LTO, bioplyn, produkty zplyňování |
| Paroplynové cyklus | 5-450 | 30-50 | zemní plyn, LTO, bioplyn, produkty zplyňování |
| Mikroturbína | 0,01-1 | 20-35 | zemní plyn, LTO, bioplyn, produkty zplyňování |
| Stirlingův motor | 0,001-0,03 | 15-25 | libovolné |
| Spalovací motor | 0,005-10 | 35-45 | zemní plyn, LTO, bioplyn, produkty zplyňování |

Dalším možným rozdělením je podle maximálního dosažitelného elektrického výkonu: [12]

- mikrokogenerace – elektrický výkon do 10 kW_e,
- decentralizovaná kogenerace – elektrický výkon od desítek až stovek kW_e,
- velká kogenerace – elektrický výkon od jednotek až stovek MW_e.

1.3.1 Stirlingův motor

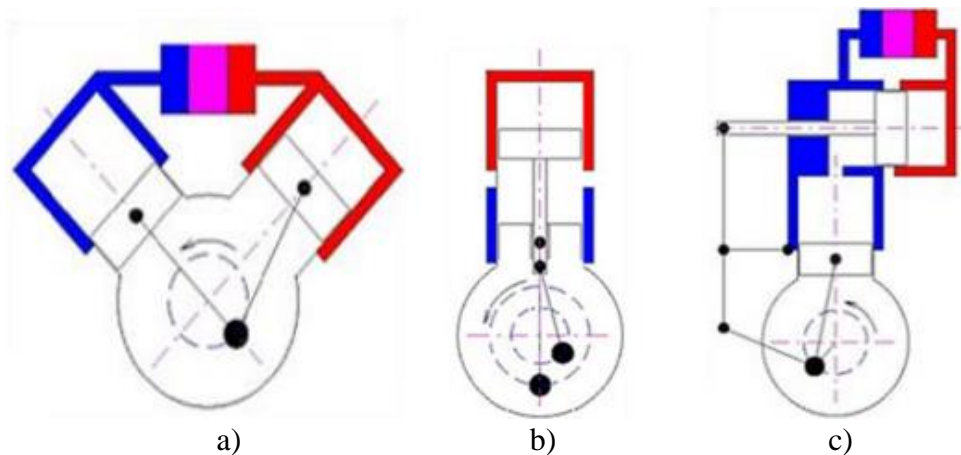
Stirlingův motor je teplovzdušný motor s externím spalováním, vychází z principu roztažnosti plynů. Motor se skládá z jednoho až dvou válců a až dvou pístů, záleží, o jaké modifikaci se hovoří. Modifikace jsou tři: alfa, beta a gama. Jednotlivé modifikace jsou zobrazeny na obr.1.3. [13]

Stirlingův motor se skládá z přeháněcího pístu a pracovního pístu. Přeháněcí píst je umístěn v ohřívaci a pracovní píst v chladiči (pracovním válci). Motor musí být dokonale utěsněn, aby nedocházelo k úniku plynu. Moderní stirlingovy motory využívají plyny s vysokou tepelnou vodivostí např. vodík, helium, dusík. [13] [14] [15]

Jeden pracovní cyklus začíná, když se přeháněcí píst přesune dolů a vzduch je přemístěn do horní části, ve které dochází k ohřívání vzduchu. Ohřátý vzduch zvětšuje svůj objem a zvyšuje tlak. Vzduch je veden potrubím do pracovního válce, který tlačí na pracovní píst a roztáčí setrvačnick, koná se práce. Na stejnou kliku je napojena i ojnice, která pohybuje přeháněcím pístem. Dříve, než píst v pracovním válci dokončí zdvih a ocitne se v úvrati, dochází ke změně polohy přeháněcího pístu ve válci směrem nahoru. Přeháněcí píst vytlačí ohřátý vzduch do chladiče, kde předá teplo výměníku. Zároveň dojde ke snížení teploty, snížení tlaku a vzniku podtlaku v chladičím válci a dochází k nasátí pracovního pístu. Při nasátí pístu vzniká opět práce, setrvačnick se roztáčí a dochází k dokončení jednoho pracovního cyklu. [13] [14] [15]

Z konstrukčního hlediska se Stirlingovy motory rozdělují takto:

- Modifikace alfa – dva válce osově souměrné
- Modifikace beta – dva písty v jednom válci
- Modifikace gama – dva písty osově nesouměrné



Obr. 1.3. Modifikace Stirlingova motoru [13]

Modifikace alfa: Tato modifikace je složena ze dvou válců, kde se jeden zahřívá a druhý se ochlazuje. Ke správnému chodu potřebuje velký rozdíl teplot. Jedná se o nejpoužívanější modifikaci v praxi. [13]

Modifikace beta: V jednom válci jsou oba písty, kde dochází k ohřívání horní části a ochlazování té spodní. V praxi ani u modelu se nepoužívá [13]

Modifikace gama: Jedná se o modifikaci beta s dvěma válci, část přeháněcího válce se ohřívá a druhá část s pracovním válcem se ochlazuje. Je nejpoužívanější mezi modely, ale v praxi se moc nepoužívá. [13]

Červeně je označen válec, který se zahřívá a modře je označen ochlazovaný válec (pracovní). Fialovou barvou je označen tzv. ekonomizér (regenerátor). Jedná se o výměník, který zvyšuje účinnost motoru, nachází se mezi ohříváním a ochlazovaným válcem. Plynové medium přechází přes ekonomizér v obou směrech. Nejdříve z ohřívajícího válce do ochlazovaného, kde předá část tepla ekonomizéru a dochladí se v ochlazovaném válci. Při zpětném přepouštění se předehřeje, přijme teplo z ekonomizéru a dohřeje se v ohřívající válci. [13]

Výhody: [13] [16]

- Díky externímu spalování lze využít prakticky jakýkoliv druh paliva, k provozu Stirlingova motoru může být použita sluneční energie, geotermální nebo např. odpadní teplo z průmyslových procesů.
- Servisní intervaly bývají zpravidla každých 5 000 – 10 000 hodin provozu, a s tím spojené nižší servisní náklady
- Tichý chod
- Nízké emisní hodnoty
- Výroba elektřiny není závislá na výrobě tepla
- Během externího spalování nedochází k styku spalin a vnitřních součástí, tím pádem nedochází k nadměrnému opotřebování
- Má jednoduchou konstrukci

Nevýhody: [13] [16]

- Vysoké investiční náklady
- Špatná regulovatelnost

- Vysoký tlak plynu
- Vysoká teplota ohříváku

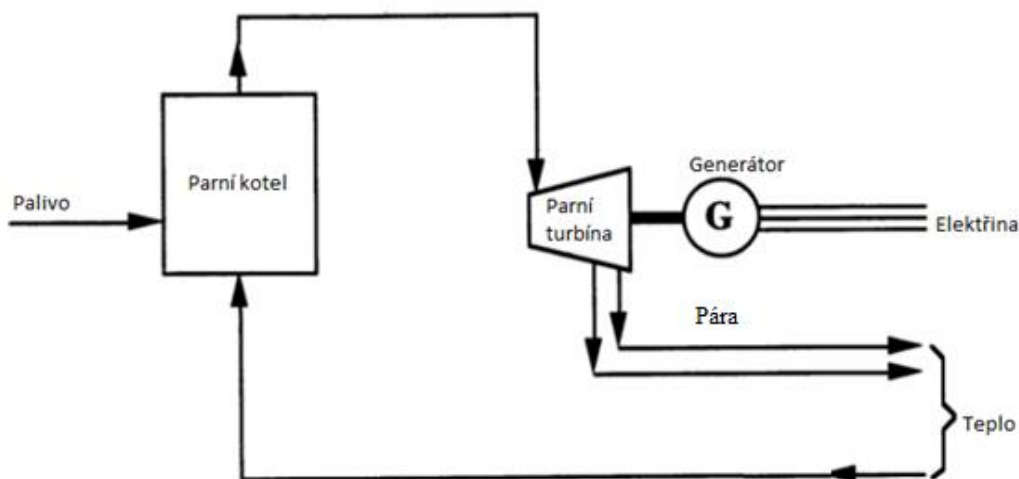
1.3.2 Parní turbína

Kogenerace s parní turbínou se využívá z důvodů vysokého výkonu pouze pro průmyslové a velké objekty, někdy se také označuje jako Rankinův oběh (RC). Tepelný oběh začíná v parním generátoru (kotli), který se skládá z ohříváku vody, výparníku a přehříváku páry. V parním generátoru voda přijme teplo a vzniká přehřátá pára, která směřuje do turbíny. V turbíně dochází k expanzi páry a transformaci na mechanickou práci. Turbína je pomocí spojky spojena s generátorem, ve kterém se transformuje mechanická práce na elektřinu. Z turbíny odchází pára o nižším tlaku oproti vstupnímu tlaku do topného výměníku (v případě protitlaké turbíny), ve kterém je ohřívána topná voda. V případě kondenzační turbíny je expanze v turbíně dělená a pro potřeby ohřevu topné vody je brána pára z odběru a výstupní pára proudí do kondenzátoru, ve kterém je odebráno páře zbytkové teplo a mařeno do okolí. Kondenzát z kondenzátoru je za pomoci kondenzátního čerpadla dopravován do napájecí nádrže, ze které je napájecím čerpadlem dopravována do kotle, čímž se celý cyklus uzavírá. [8] [17]

Parní turbínou lze rozdělit na protitlaké a kondenzační:

Protitlaká turbína: Z turbíny se dodává pára do soustavy zásobování teplem namísto její kondenzace v kondenzátoru. Pára, která opouští turbínu má vyšší tlak, než je tlak atmosférický, proto název protitlaká. Z obrázku 1.4. je vidět, že pára z turbíny může být odebírána ve více tlakových úrovních, zaleží na poptávce po teple. [17]

Kondenzační turbíny: U kondenzační turbíny je pára odebírána na několika tlakových úrovních, která je určena na výrobu tepla. Zbylá pára expanduje v turbíně při výrobě elektřiny. [17]



Obr. 1.4. Schéma zapojení protitlakové parní turbíny [17]

Výhody: [17] [18]

- Při pravidelné údržbě může životnost dosahovat, až několik desítek let
- Velmi vysoká spolehlivost
- Jedná se o zdroj s vnějším spalováním, proto se může použít jakýkoliv druh paliva
- Široké výkonové rozpětí
- Možnost dodávat horkou vodu a páru

- Protitlaká turbína má jednoduchou konfiguraci
- U kondenzační parní turbíny je nezávislá výroba elektřiny na teple ve srovnání s protitlakou

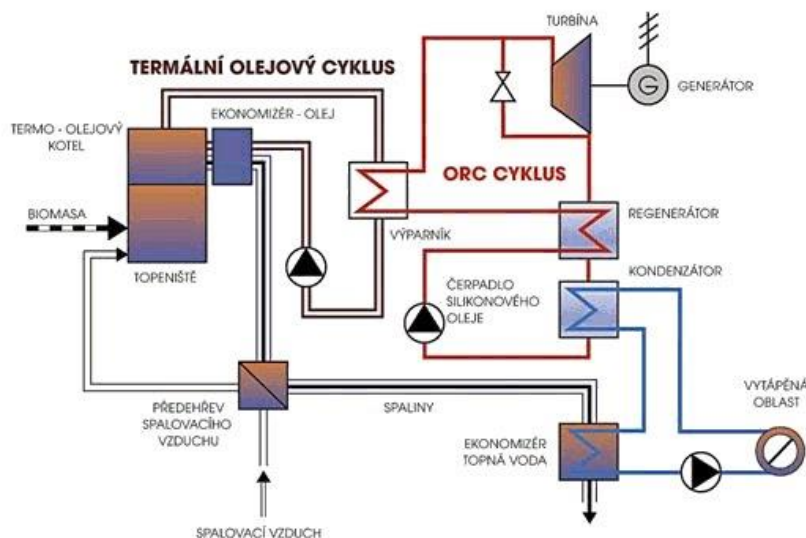
Nevýhody: [17] [18]

- Vysoké náklady na provoz
- U protitlaké turbíny závisí výroba elektřiny na množství odebraného tepla
- Uvedení turbíny do provozu (výroby elektřiny) ze studeného stavu trvá řádově desítky minut až hodiny.

1.3.3 Organický Rankinův cyklus

Organický Rankinův cyklus neboli také ORC funguje na principu RC oběhu, ale rozdíl je v druhu látky kolující v oběhu. U klasického RC cyklu se jako teplotnosné medium používá voda / vodní pára, ale u ORC se využívá organická látka např. čpavek, freon, silikonové oleje a jiné. Důvodem, proč se používá organická látka, je nižší bod varu. Může se použít na recyklaci tepelné energie, která by se už za normálních okolností nedala zužít. [19]

Na obr. 1.5. je vidět schéma zapojení ORC cyklu. Z obrázku je patrné, že na výstupu z turbíny je umístěn regenerátor. Kdyby v ORC oběhu nebyl umístěn, tak by organická látka v kondenzátoru odevzdala příliš mnoho tepla a ve výparníku by musela opět velké množství tepla zase přijmout. Z toho důvodu se část tepla, než vstoupí do kondenzátoru, předá pomocí regenerátoru zkondenzované látce. Pára o nižší teplotě vstupuje do kondenzátoru, kde předá zbytkové teplo a zkondenzuje. Pomocí čerpadla je přečerpáván kondenzát, přes regenerátor do výparníku, kde se opět ohřívá a následně vypařuje.



Obr. 1.5. Schéma kogenerace s ORC cyklem při využití biomasy [20]

Výhody: [20]

- Využití tepelné energie ze zdrojů s nízkou teplotou jako jsou biopaliva, sluneční energie, odpadní teplo
- Velmi jednoduchá a nenáročná údržba
- Vysoká účinnost

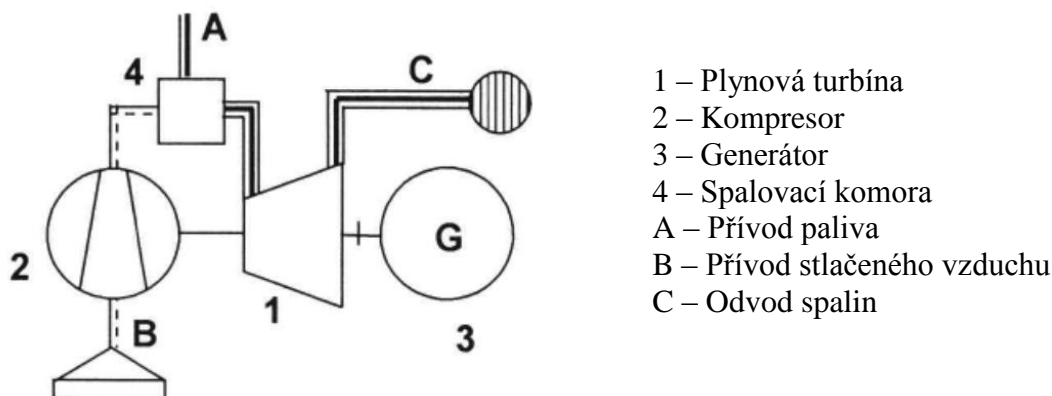
Nevýhody: [20]

- Vysoké pořizovací náklady
- Systém s pracovní látkou musí být dokonale utěsněn. Pokud je pracovní látkou například freon nebo čpavek, nesmí dojít k úniku ze systému, došlo by ke znečištění životního prostředí.
- Pomalý start

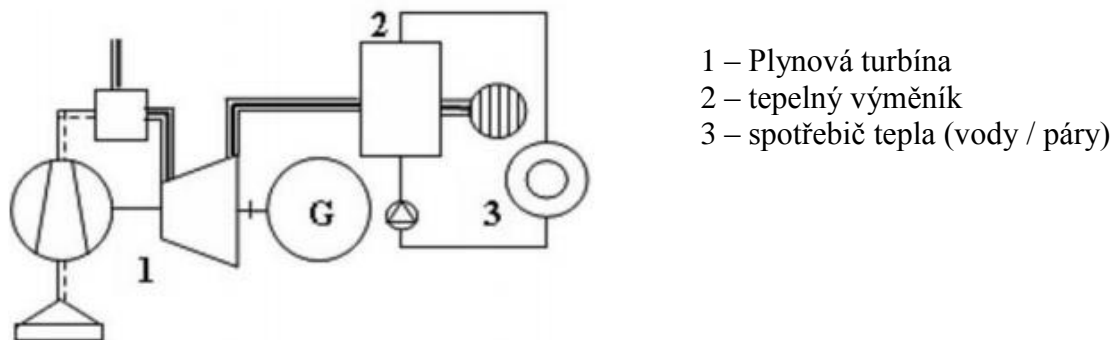
1.3.4 Plynová turbína

Plynová turbína neboli spalovací turbína je technologie, která pracuje s relativně velkými výkony. Výkony těchto jednotek se pohybují v řádech stovek kilowatt až stovek megawatt. Základní schéma této jednotky je na obr. 1.6. Plynová turbína využívá plynné nebo kapalné palivo (zemní plyn, bioplyn, lehké topné oleje atd.). Důvodem pro nepoužívání pevných paliv je ten, že spaliny jdoucí ze spalovací komory musí být čisté, aby nedocházelo k erozi lopatek turbíny. [8] [21]

Kogenerace s plynovou turbínou funguje tak, že kompresor nasaje vzduch z okolí o atmosférickém tlaku a následně o vysokém tlaku vhání do spalovací komory. Ve spalovací komoře se mísí s palivem a dochází ke spalování (hoření). Spaliny ze spalovací komory směřují do turbíny, kde spaliny expandují a konají práci. Vzniká mechanická práce, která pohánění generátor a zároveň část mechanické práce je použita pro pohon kompresoru, který je umístěn na společné hřídeli. Z turbíny spaliny směřují do tepelného výměníku, kde dochází ohřevu dalšího média. Spaliny, které opouštějí turbínu mají teplotu kolem 450 – 600°C. 1.7. [21]



Obr 1.6. Schéma zapojení kogenerační jednotky s plynovou turbínou [8]



Obr 1.7. Schéma zapojení kogenerační jednotky s plynovou turbínou a kotlem na odpadní teplo [8]

Výhody: [8] [22]

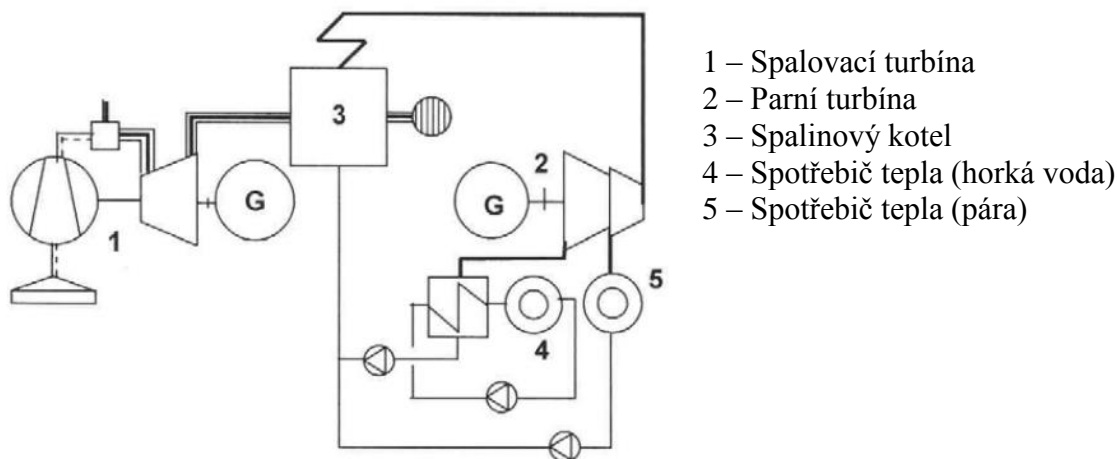
- Vysoká spolehlivost a nepřerušovaný provoz
- V případě nutnosti umožňuje každodenní odstávku
- Nízké investiční náklady
- Rychlý start a změna výkonu

Nevýhody: [8] [22]

- Palivo musí být co nejčistší
- Během provozu o vysoké frekvenci produkují velké množství hluku
- U malých výkonů je nižší účinnost a rostou náklady

1.3.5 Paroplynový cyklus

Jedná se o kombinaci spalínového kotle, parní a spalovací turbíny. Kdy spalínový kotel využívá odpadní teplo spalín ze spalovací turbíny k výrobě páry, kterou je poháněna parní turbína. Tento druh zařízení se snaží o maximální podíl výroby elektrické energie z paliva, v některých případech elektrická účinnost dosahuje až 60%. [8]



Obr. 1.8. Schéma zapojení kogenerační jednotky v paroplynovém provedení [8]

Výhody: [22] [8]

- Vysoký podíl vyrobené elektřiny
- Možnost dodávky tepla v páře a horké vodě
- Možnost modulového uspořádání a různých konfigurací
- Vysoká elektrická účinnost
- Nižší měrné investiční náklady

Nevýhody: [22] [8]

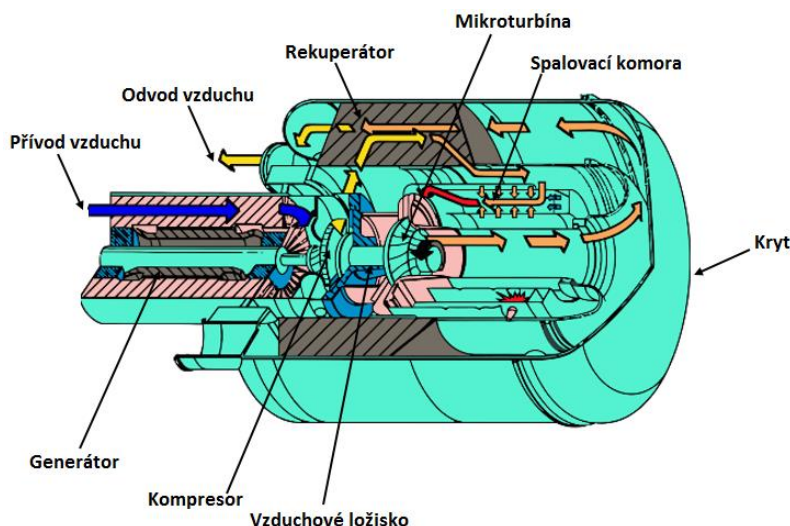
- Možnost spalování pouze ušlechtilých paliv
- Vysoké nároky na údržbu a vysoké nároky na kvalitu obsluhy
- Vysoká hlučnost plynové turbíny

1.3.6 Mikroturbína

Mikroturbína je plynová turbína o malém výkonu a vysokých otáčkách. Až do nedávna se provoz plynových turbín, které měly výkon menší než 1 MW z ekonomického hlediska nevyplatil. Díky technologickému pokroku je provoz mikroturbín stále populárnější. V dnešní době na trhu můžeme najít mikroturbíny o výkonu v řádech desítek kW, například firma Capstone nabízí svoji kogenerační jednotku C30 o výkonu 30 kW. [8] [22]

Mikroturbína se skládá z kompresoru, turbíny, spalovací komory, generátoru a rekuperátoru. Kompresor, turbína a generátor jsou uloženy na společné hřídeli. Princip fungování mikroturbíny bude vysvětlen na obr. 1.9. Kompresor nasaje vzduch z okolí, následně vzduch stlačí a přes spalínový výměník žene vzduch do spalovací komory. Ve spalovací komoře se spaluje směs stlačeného vzduchu a paliva. Směs získá energii, kterou v turbíně uvolní a roztočí lopatky turbíny. Turbína pohání generátor a část energie je použita pro pohon kompresoru. Následně jsou z turbíny spaliny odváděny přes rekuperátor do výměníku. Teplota spalin se pohybuje kolem 220 – 320 °C. [4] [8]

Otáčky u mikroturbín se pohybují kolem 100 000 ot/min, proto musí být použit vysokofrekvenční generátor a následný převod výkonu do sítě pomocí frekvenčního měniče. [8]



Obr. 1.9. Řez mikroturbínou od firmy Capstone C30 [23]

Výhody: [8] [22]

- Nízké náklady na údržbu
- Malé rozměry
- Díky malému počtu pohyblivých částí jsou vysoce spolehlivé
- V porovnání se spalovacími motory produkují méně spalin
- U mikroturbín se používají vzduchem chlazená ložiska, proto nepotřebují mazací olej
- Vysoká teplota spalin pro další využití

Nevýhody: [8] [22]

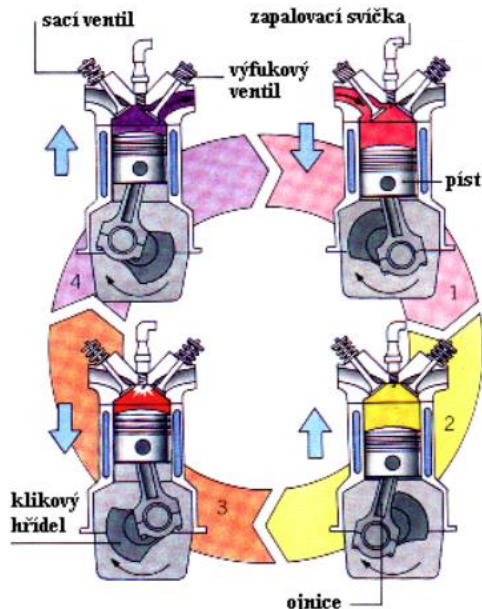
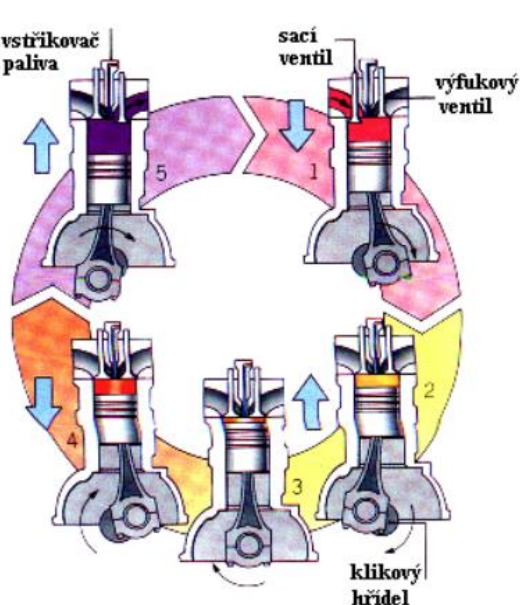
- Při provozu mikroturbíny je závislost na vnějších parametrech (teplotě, tlaku) a vyšších nárocích na čistotu paliva
- Náklady

1.3.7 Spalovací motory

Kogenerační jednotky, které pracují se spalovacími pístovými motory, patří do skupiny s vnitřním spalováním. Jsou velmi hojně využívány a jejich výkonový rozsah se pohybuje od desítek kW do desítek MW. Spalovací motory mohou být rozděleny na zážehové a vznětové motory. Rozdíl je ve způsobu zapálení směsi vzduchu a paliva ve válci.

Vznětový motor: Vznětový motor, nebo také se mu někdy říká Dieselův. Princip vznětového motoru je znázorněn na obr. 1.10. Píst nasaje vzduch a válec se uzavře (1), dochází k následnému stlačení vzduchu (2). Během stlačení se zvýší teplota vzduchu na 600-800 °C a po následném vstříknutí paliva (3) se směs sama vznítí. Následkem vznícení dojde k prudkému zvýšení tlaku a teploty, píst se pohybuje dolů (4). Po otevření výfukového ventilu, píst vytlačí spálený plyn ven z válce (5). [24]

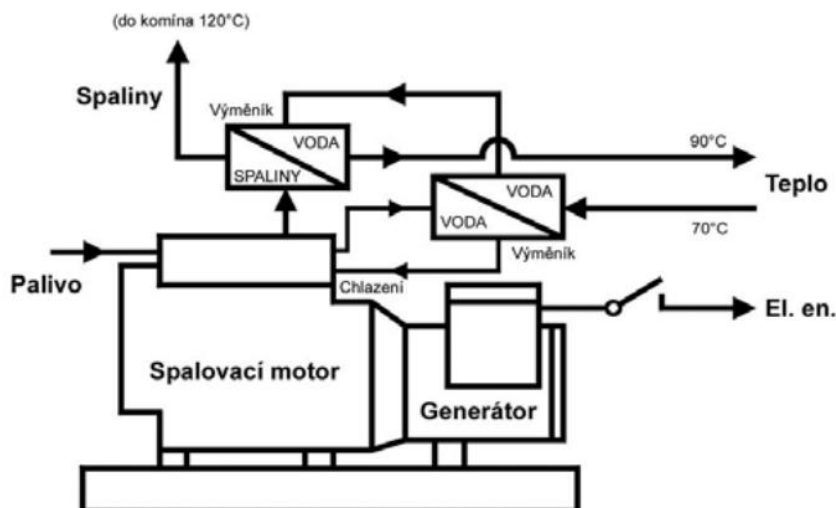
Zážehový motor: Na rozdíl od vznětového motoru, se u zážehového motoru stlačená směs zapálí pomocí elektrické jiskry. Princip zážehového motoru je uveden na obr. 1.11. Před válcem dojde ke smíšení vzduchu a paliva, píst tuto směs nasaje do válce (1). Sací ventil se uzavře a píst stlačuje směs (2), po kompresi elektrická jiskra zapálí směs a dojde k výbuchu směsi, která píst stlačí dolů (3), následuje otevření výfukového ventilu a píst vytlačí spálený plyn pryč z válce (5). [24]



Obr. 1.10. Princip vznětového motoru [24]

Obr.1.11. Princip zážehového motoru [24]

Práce je u spalovacích motorů vytvářena díky pístům, které jsou spojeny pomocí ojnice s klikovou hřídelí. Při pohybu pístů nahoru a dolů dochází k pohybu klikové hřídele, která následně pohání generátor. U KJ se spalovacím motorem je tepelná energie získávána z chlazení oleje, chlazení motoru a ze vzniklých spalin. Vzniklé teplo se pomocí výměníku zachytává a následně využívá k ohřevu TUV a vytápění. [24] [25]



Obr. 1.12. Schéma KJ se spalovacím motorem [26]

Výhody: [8] [25]

- Velké množství paliv, které se dají použít jako zdroj energie
- Široké výkonové rozmezí a zároveň vysoká účinnost
- Nízké investiční náklady
- Rychlý startovací čas na maximální výkon
- Vysoká spolehlivost

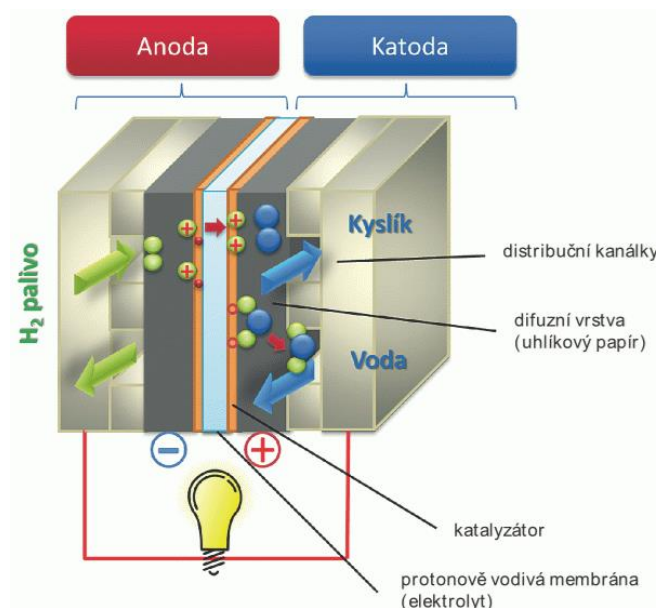
Nevýhody: [8] [25]

- Vysoká hladina hluku
- Časté kontroly z důvodů velkého počtu pohyblivých částí
- Vysoké náklady na údržbu

1.3.8 Palivové články

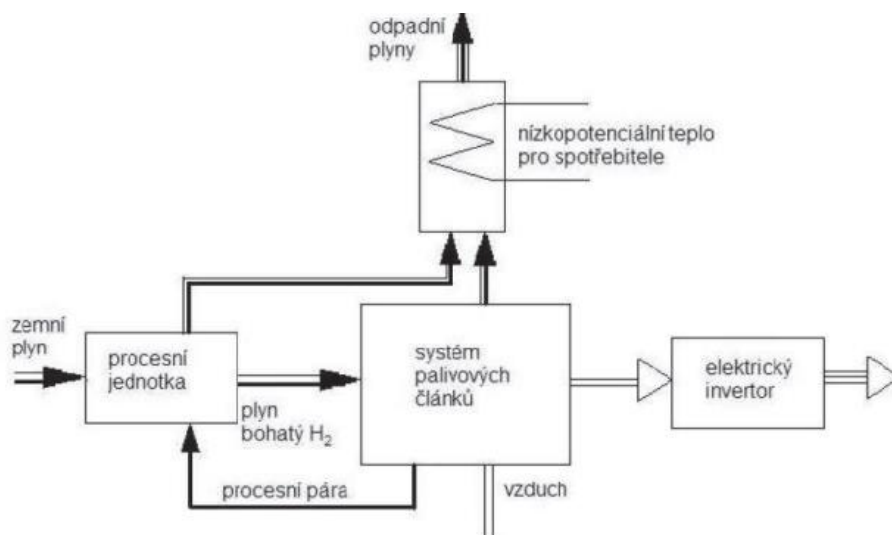
Palivové články jsou jediným zástupcem PJ využívající přímé transformace. Palivové články využívají elektrochemickou reakci mezi vodíkovým palivem (momentálně není vodík dostupný ve formě komerčního paliva, proto musí být použita paliva bohaté na vodík, například zemní plyn, bioplyn, LPG, etanol a další) a kyslíkem k výrobě elektřiny a tepla, bez tepelného oběhu. V současnosti se stále pracuje na vývoji palivových článků a předpokládá se, že v budoucnu budou hlavním zdrojem energie v energetice, automobilním průmyslu, kosmonautice a dalších odvětvích. [27].

V současnosti je několik druhů palivových článků využívající různé technologie, které se mohou lišit druhem použitého elektrolytu, materiálu elektrod, pracovní teploty a typu iontové vodivosti. Princip palivových článků je založen na elektrochemické reakci využívající dvě elektrody, anody (záporné elektrody) a katody. Elektrody jsou odděleny elektrolytem. Anoda přijímá vodík a na katodu je přiváděn kyslík. Na povrchu katalyzátoru dojde ke štěpení vodíku na kladné ionty a elektrony. Elektrony putují přes vnější okruh za pomoci elektrického vodiče ke katodě a vzniká elektrický proud. Zároveň kladné ionty přechází přes elektrolyt ke katodě. Na katodě se slučuje s kyslíkem a vzniká voda a teplo. Tepelná energie může být odebrána z procesní jednotky, katody, anody nebo z chlazení článků. Princip palivového článku je zobrazen na obr.1.13. [27]



Obr.1.13. Princip palivového článku [28]

Samotná KJ využívající palivové články se skládá z procesní jednotky, systému palivových článků, elektrického invertoru a zásobníku odpadního tepla. Předtím než vodík vstoupí do samotného palivového článku, musí být nejprve uvolněn z paliva v procesní jednotce. V současnosti je nejpoužívanějším palivem zemní plyn, který se skládá hlavně z metanu (CH₄). V procesní jednotce reaguje metan s vodní párou a dochází k rozložení na vodík a oxidy uhlíku (CO₂, CO). Dalším prvkem je systém palivových článků, samostatný palivový článek vytváří 0,6 – 0,8V, proto se spojuje velké množství palivových článků do série (tzv. souborů), aby se dosáhlo vyššího napětí. Vedle palivových článků je umístěn elektrický invertor, který přeměňuje stejnosměrný proud na střídavý. Schéma zapojení KJ využívající palivové články je znázorněno na obr. 1.14. [4] [27]



Obr. 1.14. Schéma KJ využívající palivové články [4]

V současnosti se využívá 6 typů palivových článků, které se liší druhem elektrolytu, jejich vlastnosti jsou uvedeny v tab. 1.2. [27]

AFC (Alkalický článek) – jako elektrolyt slouží zředěný hydroxid draselný (KOH)

PEMFC (články s tuhými polymery) – elektrolyt je tuhý organický polymer

PAFC (články s kyselinou fosforečnou) – elektrolyt je kyselina fosforečná (HPO_3)

MCFC (články s roztavenými uhličitany) – elektrolytem jsou roztavené uhličitany

SOFC (články s tuhými oxidy) – elektrolytem je tvořen oxidy vybraných kovů

Tab.1.2. Vlastnosti jednotlivých palivových článků [27]

| Článek | Typ | Elektrolyt | Pracovní teplota [°C] | Palivo | Výkonové rozmezí |
|--------|---------------------|-------------------------------|-----------------------|------------------------------------|-----------------------------|
| AFC | alkalický | 30 % KOH | 70-100 | velmi čistý vodík | do 20 kW _e |
| PEMFC | membránový | polymer | 50-100 | vodík, zemní plyn | do 250 kW _e |
| PAFC | membránový | kyselina fosforečná | 150-200 | vodík, zemní plyn, speciální plyny | 50 - stovek kW _e |
| MCFC | rozemleté karbonáty | alkalické uhličitany | 600-700 | vodík, zemní plyn, speciální plyny | jednotky MW _e |
| SOFC | oxido-keramické | ytrium stabilizované zirkonem | 700-1000 | vodík, zemní plyn | jednotky MW _e |

Výhody: [4] [29]

- Vysoká energetická účinnost
- Přívětivé vůči životnímu prostředí, produkují mnohonásobně méně emisí než např. KJ se spalovacím motorem
- Jednotka neobsahuje žádné pohyblivé části, proto je bezhlučná
- Mají vysokou účinnost a životnost

Nevýhody: [4] [29]

- Vysoké investiční náklady
- Složitější regulace teploty a tlaku aktivních medií
- Doba náběhu může trvat, až několik minut

2. POSTUP PŘI ZŘIZOVÁNÍ MIKROKOGENERAČNÍ JEDNOTKY

Při pořízení mikrokogenerační jednotky do nového objektu nebo nahrazením starého zdroje tepla mikrokogenerační jednotkou a prodejem nadbytečné elektřiny do distribuční sítě, musí být dodrženo několik bodů daných příslušnými zákony. Jednotlivé body, které musí budoucí majitel KJ dodržet jsou uvedeny níže.

a) Připojení KJ k distribuční síti

Před připojením KJ k distribuční síti, musí být podaná žádost u příslušného distributora elektřiny, v ČR jsou to E.ON, ČEZ nebo PRE. Spolu s žádostí o připojení KJ do sítě, se musí předložit také situační plán umístění KJ, jednopólové schéma připojení a výpis z obchodního rejstříku. Náležitosti o připojení KJ do distribuční sítě se řídí dle zákona č. 458/2000 Sb. a vyhláškou Energetického regulačního úřadu č. 16/2016 Sb. [30] [31] [32]

b) Autorizace k výstavbě výroby elektřiny

Žádost o udělení autorizace se podává na ministerstvo průmyslu a obchodu, ale u kogeneračních jednotek, které nepřesáhnou elektrický výkon 100 kW_e, není autorizace nutná. [30]

c) Stavební povolení

Pokud v kotelně, kde bude KJ umístěna, nedojde k žádným úpravám, které by mohly ohrozit zdraví osob, požární bezpečnost, stabilitu, vzhled budovy, nějak ohrozit životní prostředí, nebude potřeba instalovat novou plynovou přípojku nebo se nebude měnit odvod spalin, tak v tomto případě stavební povolení není potřeba. Pokud bude potřeba budovat novou plynovou přípojku nebo upravit kotelnu, tak se na příslušném stavebním úřadu podá žádost o stavební povolení společně s projektem na instalaci KJ a projekt na vyvedení elektřiny. Veškeré právní ustanovení a náležitosti se řídí dle stavebního zákona č. 183/2006 Sb. [30] [33]

d) Zkušební provoz

Po získání stavebního povolení může být KJ nainstalována. Před spuštěním se musí požádat stavební odbor o zkušební provoz. K udělení povolení musí být předložen doklad o plynové revizi zařízení, revizi elektroinstalace a doklady o dodržení všech bodů ve stavebním povolení. [30]

e) Licence

Licence není potřeba pokud elektrický výkon nepřesáhne 10 kW_e, a zároveň není v odběrném místě připojena jiná výroba. Pokud elektrický výkon přesáhne 10 kW_e, je potřeba podat požadavek u Energetického regulačního úřadu pro udělení licence. Licence nahrazuje živnostenský list. Dané ustanovení se řídí dle zákona č. 458/2000 Sb. [30] [34] [31]

f) Osvědčení o původu elektřiny a tepla

Dle zákona č. 165/2012 Sb. osvědčení o původu elektřiny a tepla vydává Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR, které prokazuje původ vyrobené elektřiny. Osvědčení je nutné pro vyplacení podpory KVET od Operátora trhu s elektřinou. [30] [35]

g) Registrace u Operátora trhu s elektřinou

Každý výrobce elektřiny se musí stát registrovaným účastníkem trhu. Registrace se provádí u Operátora trhu s elektřinou, žádost lze podat elektronicky nebo využít datové schránky Operátora trhu. [30] [36]

h) Měření

Při provozu KJ je třeba měřit množství vyrobené elektřiny za pomoci ověřených měřících přístrojů. Veškeré požadavky na měřící zařízení jsou dány zákonem č. 82/2011 Sb. Naměřená data jsou použita pro výkaznictví a pro získání podpory. Dalších důvodem měření je dokázat celkovou účinnost jednotky a úsporu paliva. [30] [37]

i) Smlouva na výkup elektřiny

Pokud v daném objektu bude vyrobené elektřiny více než elektřiny spotřebované a přebytečná elektřinu bude prodávána do distribuční sítě, musí se uzavřít smlouva s licencovaným obchodníkem. [30]

j) Podpora elektřiny z vysokoúčinné kombinované výroby

Podpora KVET je vyplácena formou zeleného bonusu, výši tohoto bonusu udává Energetický regulační úřad a stanovuje se vždy na jeden rok. Tento bonus se vztahuje na svorkovou výrobu a množství elektrické energie dodané generátorem. Vykazování a vyúčtování vyrobené elektřiny se provádí přes informační systém u Operátora trhu s elektřinou. U KJ s výkonem do 10 kW_e vyúčtování probíhá každé tři měsíce. Podmínkou je dosažení kladné úspory primární energie. Vykazování a vyúčtování probíhá obdobně jako u zeleného bonusu, prostřednictvím informačního systému a vyplácena je Operátorem trhu. [30] [35] [38]

k) Výkaznictví

Provozovatel KJ musí vést výkaznictví o množství vyrobené a spotřebované energii. Provozovatel musí předkládat výkazy pro: [30] [39]

- Energetický regulační úřad – Výkaz o výrobě elektřiny
- Český statistický úřad – Sběr dat
- Ministerstvo průmyslu a obchodu – Výkaz o spotřebě a výrobě energie

3. ZÁKLADNÍ NÁVRH KOGENERAČNÍ JEDNOTKY PRO RODINNÝ DŮM

3.1 Popis objektu

Základní návrh KJ bude proveden na rodinném domě, který se nachází v obci Mikulůvka ve Zlínském kraji v nadmořské výšce 334 m n. m. KJ bude sloužit jako hlavní zdroj energie a stávající plynový kotel bude využíván pro nabíjení akumulární nádrže a jako špičkový zdroj tepla. Jedná se o RD, který byl postaven v 90. letech 20. století a tepelné ztráty jsou přibližně 12,4 kW. Tepelná ztráta objektu byla stanovena po zateplení fasády a výměny oken. V současnosti je plynový kotel využíván k vytápění a ohřevu TUV. Rodinný dům obývá čtyřčlenná rodina, dle vyhlášky č.120/2011 Sb. byla stanovena průměrná spotřeba studené vody na osobu, která činí 70 l/den.

Kogenerační jednotka bude provozována pouze v topném období. Délka topného období je stanovena v kapitole 3.2.

3.2 Stanovení délky topné sezóny

Délka topné sezóny se řídí dle vyhlášky č.194/2007 Sb., která říká, že otopné období začíná 1. září a končí 31. května následujícího roku. Dodávka tepelné energie se zahájí tehdy pokud průměrná venkovní teplota, na příslušném místě klesne pod +13 °C ve 2 po sobě jdoucích dnech a neočekává se zvýšení nad tuto teplotu. Konec dodávky tepla se přeruší, pokud průměrná teplota vzroste nad +13°C ve 2 po sobě jdoucích dnech a neočekává se, že by teplota znovu klesla. [40]

Na základě informací z předešlého odstavce a průměrných denních pro danou lokalitu, které byly naměřeny Českým hydrometeorologickým ústavem, byla délka topné sezóny stanovena na 263 dní. [41]

3.3 Spotřeba energií RD

Spotřeba tepla na vytápění a ohřev TUV:

Za pomoci internetové kalkulačky na stránce [www.tzb-info.cz \(https://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/47-potreba-tepla-pro-vytapani-a-ohrev-teple-vody\)](https://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/47-potreba-tepla-pro-vytapani-a-ohrev-teple-vody), byla vypočítána potřeba tepla pro vytápění a ohřev TUV. Do internetové kalkulačky byla zadána délka topného období, tepelná ztráta RD, průměrné teplota během topného období a výpočtová venkovní teplota.

Lokalita (Tabulka) ☐ $t_{em} = 12\text{ }^{\circ}\text{C}$ ☒ $t_{em} = 13\text{ }^{\circ}\text{C}$ ☐ $t_{em} = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$???

Město Délka topného období $d = 263$ [dny]

Venkovní výpočtová teplota $t_e = -13$ $^{\circ}\text{C}$ Prům. teplota během otopného období $t_{es} = 3.6$ $^{\circ}\text{C}$

☒ **Vytápění**

Tepelná ztráta objektu $Q_c = 12.4$ kW

Průměrná vnitřní výpočtová teplota $t_{is} = 20$ $^{\circ}\text{C}$???

Vytápěcí denostupně
 $D = d \cdot (t_{is} - t_{es}) = 4313$ K.dny

Opravné součinitele a účinnosti systému

$e_i = 0.85$??? $\eta_o = 0.95$???

$e_t = 0.90$??? $\eta_r = 0.95$???

$e_d = 1.00$???

Opravný součinitel ε ???

☒ $\varepsilon = e_i \cdot e_t \cdot e_d = 0.765$

☐ $\varepsilon = 0.765$

$Q_{VYT,r} = \frac{\varepsilon}{\eta_o \cdot \eta_r} \cdot \frac{24 \cdot Q_c \cdot D}{(t_{is} - t_e)} \cdot 3.6 \cdot 10^{-3}$

$Q_{VYT,r} = \left(\begin{array}{l} 118.7 \text{ GJ/rok} \\ 33 \text{ MWh/rok} \end{array} \right)$

☒ **Ohřev teplé vody**

$t_1 = 10$ $^{\circ}\text{C}$??? $\rho = 1000$ kg/m³ ???

$t_2 = 55$ $^{\circ}\text{C}$??? $c = 4186$ J/kgK ???

$V_{2p} = 0.280$ m³/den ???

Koeficient energetických ztrát systému $z = 0.5$???

Denní potřeba tepla pro ohřev teplé vody

$Q_{TUV,d} = (1 + z) \cdot \frac{\rho \cdot c \cdot V_{2p} \cdot (t_2 - t_1)}{3600} = 26.7$ kWh

Teplota studené vody v létě $t_{svl} = 15$ $^{\circ}\text{C}$

Teplota studené vody v zimě $t_{svz} = 5$ $^{\circ}\text{C}$

Počet pracovních dní soustavy v roce $N = 365$ [dny]

$Q_{TUV,r} = Q_{TUV,d} \cdot d + 0.8 \cdot Q_{TUV,d} \cdot \frac{t_2 - t_{svl}}{t_2 - t_{svz}} \cdot (N - d)$

$Q_{TUV,r} = \left(\begin{array}{l} 31.5 \text{ GJ/rok} \\ 8.8 \text{ MWh/rok} \end{array} \right)$

Celková roční potřeba energie na vytápění a ohřev teplé vody

$Q_r = Q_{VYT,r} + Q_{TUV,r} = \left(\begin{array}{l} 150.2 \text{ GJ/rok} \\ 41.7 \text{ MWh/rok} \end{array} \right)$

Obr. 3.1. Roční spotřeba tepelné energie [42]

Spotřeba elektřiny:

Množství spotřebované (potřebné) elektřiny ve výši 3 150 kWh je určena z faktury za období červen 2017 až červen 2018. V tab. 3.1. jsou uvedeny průměrné ceny energií, se kterými se bude dále počítat. Průměrné ceny energií byly stanoveny dle ceníku od firmy ČEZ.

Tab. 3.1. Průměrné ceny energií [43]

| Cena energií | | |
|---------------------------------|-------|--------|
| Nákupní cena elektrické energie | 5,395 | Kč/kWh |
| Nákupní cena zemního plynu | 1,265 | Kč/kWh |
| Výkupní cena elektrické energie | 0,8 | Kč/kWh |

Výkupní cena elektřiny, byla firmu ČEZ stanovena na 0,8 Kč/kWh.

3.4 Ekonomické posouzení investice

Ekonomické zhodnocení jednotlivých návrhů je rozděleno na roční náklady a výnosy. Náklady se budou dělit na investiční a náklady spojené s provozem KJ. [8]

- Do investičních nákladů je započítána cena KJ, cena za akumulární nádrž a potřebné úpravy při instalaci
- Provozní náklady se skládají z nákladů na palivo pro KJ a záložního plynového kotle, nákladů na údržbu systému a za nutné revizní prohlídky.
- Za výnosy jsou považovány úspory, které se ušetří provozem KJ, zisky z prodeje přebytečné elektřiny do distribuční sítě a využití dotací.
- Veškeré varianty budou posuzovány v rámci období 15 let.

3.5 Roční diagram trvání potřeb tepla

Diagramy potřeby tepla jsou při návrhu kogeneračních zařízení rozhodující. Diagram vyjadřuje, kolik dní během roku je potřeba tepla větší než její zvolená velikost a po jakou dobu bude zvolený výkon jednotky využit. Diagram se skládá z potřeby tepla na vytápění a ohřev TUV. V kapitole 3.3. na obr.3.1. bylo stanoveno množství spotřebovaného tepla za 1 rok. Délka topné sezóny byla stanovena v kapitole 3.2. a průměr venkovních denních teplot byl naměřen Českým hydrometeorologickým ústavem pro danou lokalitu. [41] Známe-li množství spotřebované energie za 1 rok, průběh venkovních teplot a počet dnů topného období, tak na základě těchto informací může být sestrojen diagram trvání potřeby tepla. Nejdříve musí být sestrojena křivka trvání teplot, která odpovídá křivce trvání potřeby tepla. [8]

Křivka trvání teplot:

Údaje potřebné k sestrojení křivky trvání tepla, byly stanovena z měření Hydrometeorologického ústavu:

- Počet dnů topné sezóny: $d=263$ dní (kapitola 3.2.)
- Nejnižší venkovní teplota: $t_{e,min} = -13$ °C
- Venkovní teplota: t_e
- Venkovní teplota při, které se začíná/končí s topením $t_k = +13$ °C

Pro poměrnou teplotu vnějších teplot platí vztah: [44]

$$\vartheta = f(t_e) = \frac{t_k - t_e}{t_k - t_{e,min}} \quad (3.1)$$

Dalším parametrem je četnost trvání teplot n , je to doba výskytu vnějších teplot (t_e). Četnost venkovních teplot, byla stanovena z naměřených hodnot Českého hydrometeorologického ústavu. Pro poměrnou dobu výskytu vnějších teplot t_e je následující vztah 3.2. [44]

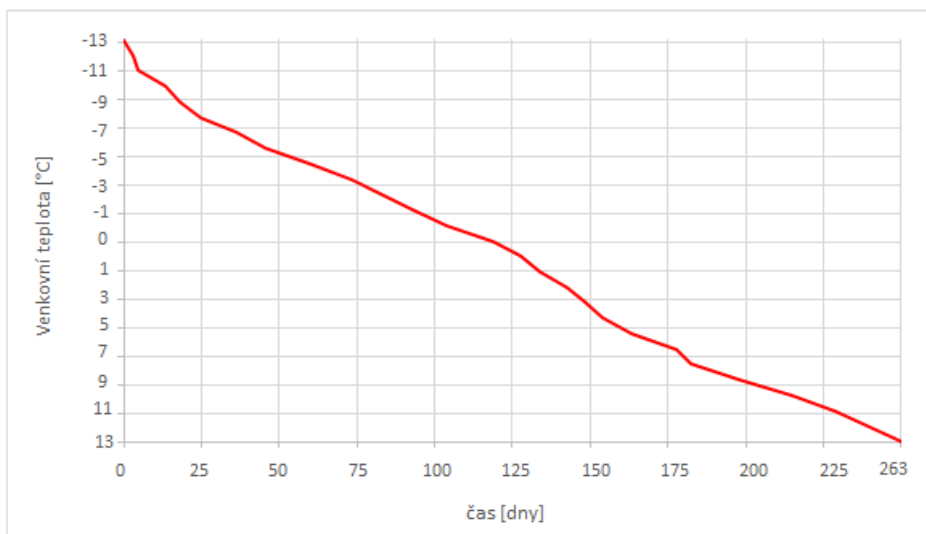
$$v = \frac{n}{d} \quad (3.2)$$

V následující tabulce jsou vypočítány všechny hodnoty, které jsou potřeba k sestrojení křivky trvání teplot.

Tab.3.2. Hodnoty pro sestrojení křivky trvání teplot

| t_e | n | ϑ | v |
|-------|-----|-------------|------|
| -13 | 0 | 1 | 0 |
| -10 | 14 | 0,88 | 0,05 |
| -8 | 26 | 0,81 | 0,10 |
| -6 | 48 | 0,73 | 0,18 |
| -4 | 77 | 0,65 | 0,29 |
| -2 | 98 | 0,58 | 0,37 |
| 0 | 125 | 0,50 | 0,48 |
| 2 | 141 | 0,42 | 0,54 |
| 4 | 156 | 0,35 | 0,59 |
| 6 | 172 | 0,27 | 0,65 |
| 8 | 192 | 0,19 | 0,73 |
| 10 | 226 | 0,12 | 0,86 |
| 12 | 241 | 0,04 | 0,92 |
| 13 | 263 | 0 | 1 |

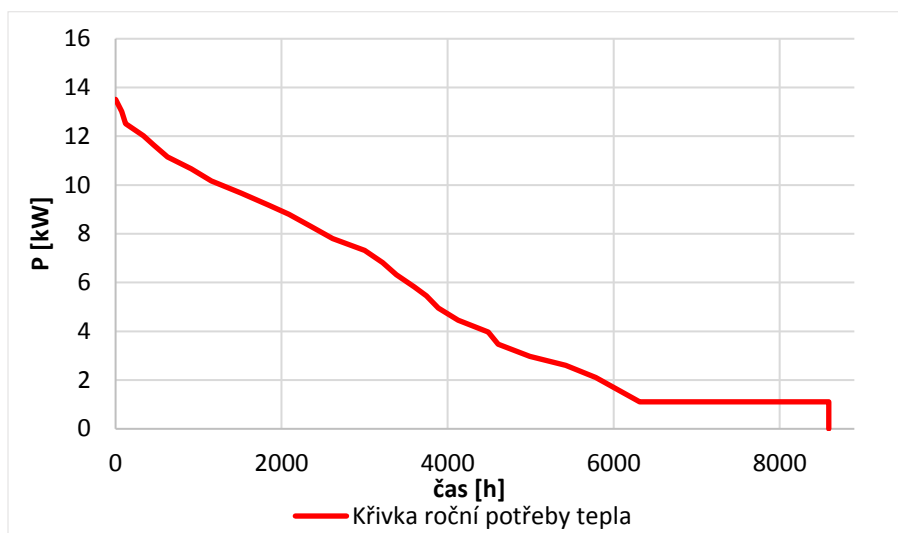
Z tab.3.2 byla sestrojena křivka trvání teplot.



Obr.3.2. Křivka trvání teplot

Křivka trvání potřeby tepla:

Křivka znázorňuje potřebu výkonu v závislosti na počtu provozních hodin. Křivka potřeby tepla odpovídá křivce trvání teplot. V případě, že je potřeba do objektu dodávat také TUV je nutné křivku trvání potřeby tepla nadsadit o potřebný výkon na ohřev TUV. Výsledný diagram je sestrojen na obr.3.2. [44]



Obr.3.3. Diagram trvání potřeb tepla

Plocha pod křivkou roční potřeby tepla odpovídá roční potřebě tepla rodinného domu, v našem případě $Q_r = 41,7$ MWh (obr.3.1.). Maximální výkon odpovídá tepelným ztrátám objektu navýšených o potřebný výkon k ohřevu TUV.

3.6 Volba akumulční nádrže

Spolu s KJ bude do RD instalována akumulční nádrž, která bude sloužit pro ukládání přebytečného tepla. Přebytečné teplo se využívá v době, kdy je odběr tepla snížený nebo slouží k vyrovnání zvýšeného odběru tepla v době špičkového odběru. Dalším využitím akumulční nádrže je dodávka tepla do soustavy v době, kdy je KJ vypnutá. Byla zvolena akumulční nádoba od firmy Viadrus typ AkuCOMFORT o objemu 1 000 litrů. Jedná se o akumulční nádobu pro ohřev TUV a vytápění a cena činí 42 800 Kč. [45]

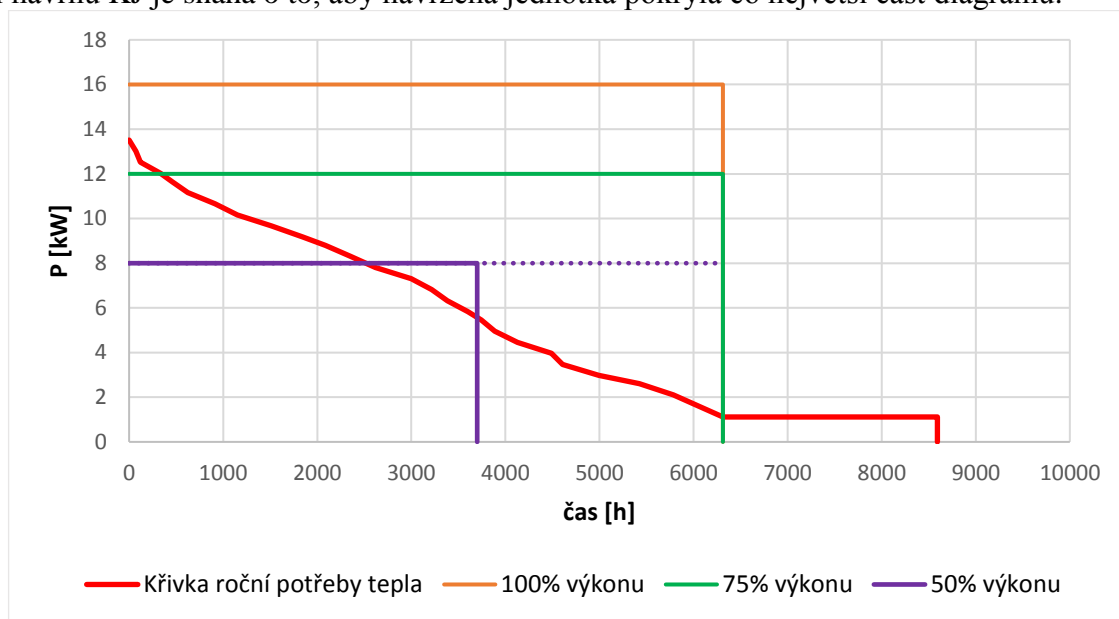
3.7 Návrh jednotky – Varianta A

V první variantě bude navrhována KJ od firmy TEDOM model MICRO 7 AP. Pro pohon jednotky je použit plynový spalovací motor. Veškeré technické parametry jsou uvedeny v tab.3.2. Tato jednotka může pracovat ve 3 stavech: 100%, 75% a 50% výkon. Z diagramu potřeby tepla obr.3.2. se stanoví, při jakém výkonu bude jednotka pracovat.

Tab. 3.3. Technické parametry KJ

| Technické parametry KJ | | |
|--------------------------------|-------|-------------------|
| Elektrický výkon | 6,5 | kW |
| Tepelný výkon | 16 | kW |
| Elektrická účinnost | 27 | % |
| Tepelná účinnost | 66,3 | % |
| Celková účinnost | 93,3 | % |
| Spotřeba plynu při 100% výkonu | 2,55 | m ³ /h |
| Spotřeba plynu při 75% výkonu | 2,04 | m ³ /h |
| Spotřeba plynu při 50% výkonu | 1,65 | m ³ /h |
| Provozní hodiny za rok | 3 700 | h/rok |

Při návrhu KJ je snaha o to, aby navržená jednotka pokryla co největší část diagramu.



Obr.3.4. Roční diagram trvání potřeby tepla

Z obr. 3.2. je vidět, že při 100% a 75% výkonu, by se vyrobilo příliš velké množství energie, které by nebylo nijak využito. Proto se jednotka bude využívat pouze na 50% výkonu. KJ bude pracovat 3 700h po dobu celého dne. Teplo, které jednotka dodá během této doby je $Q_{50\%} = 29,6 \text{ MWh}$, zbylé teplo dodá záložní plynový kotel.

Tab. 3.4. Energetická náročnost RD na celý rok

| Energetická náročnost RD | | | |
|---------------------------------|-----------|--------------|--------------|
| Celková potřeba energie | ohřev TUV | 8,8 MWh/rok | 31,56 GJ/rok |
| | vytápění | 33 MWh/rok | 118,7 GJ/rok |
| Množství spotřebované elektřiny | | 3,15 MWh/rok | |

*Množství tepla pro ohřev TUV a vytápění, jsou vypočítány v kapitole 3.3

*Množství elektřiny je stanoven v kapitole 3.3

Množství vyrobené energie v KJ

• Množství vyrobené tepelné energie

$$Q_{50\%} = P_{T50\%} \cdot t = 8 \cdot 3700 = 29600 \text{ kWh/rok} = 106560 \text{ GJ} \quad (3.3)$$

| | | |
|-------------|--|-------|
| $Q_{50\%}$ | - Množství vyrobeného tepla při 50% výkonu | [kWh] |
| $P_{T50\%}$ | - Teplený výkon při 50% zatížení | [kW] |
| t | - Počet provozních hodin za rok | [h] |

• Množství vyrobené elektřiny

$$E_{VYR} = P_{E50\%} \cdot t = 3,25 \cdot 3700 = 12025 \text{ kWh/rok} \quad (3.4)$$

| | | |
|-------------|---|-------|
| E_{VYR} | - Množství vyrobené elektrické energie při 50% výkonu | [kWh] |
| $P_{E50\%}$ | - Elektrický výkon při 50% zatížení | [kW] |

t - Počet provozních hodin za rok [h]

3.7.1 Investiční náklady na pořízení a instalaci KJ

Do investičních nákladů bude započítána cena KJ, která je 695 000 Kč včetně DPH, cena akumulární nádrže a potřebné úpravy v kotelně, kde cena byla odhadnuta na 5 000 Kč.

$$C_I = C_{KJ} + C_{SÚ} + C_{AN} = 695\,000 + 5\,000 + 42\,800 = 742\,800 \text{ Kč} \quad (3.5)$$

| | | |
|----------|------------------------------|------|
| C_I | - Celkové pořizovací náklady | [Kč] |
| C_{KJ} | - Cena za KJ včetně DPH | [Kč] |
| $C_{SÚ}$ | - Cena za stavební úpravy | [Kč] |
| C_{AN} | - Cena za akumulární nádobu | [Kč] |

3.7.2 Náklady na provoz KJ

První položkou jsou servisní náklady. Výrobce udává, že servisní náklady se pohybují od 0,25 – 0,35 Kč za 1 kWh vyrobené elektřiny. Jelikož se jedná o nejmenší jednotku, kterou výrobce vyrábí, tak při výpočtu jsou uvažovány servisní náklady 0,25 Kč/kWh

$$C_{NP1} = C_{SV} \cdot E_{VYR} = 0,25 \cdot 12\,025 = 3\,000 \text{ Kč} \quad (3.6)$$

| | | |
|-----------|---------------------------------------|----------|
| C_{NP1} | - Náklady za provoz jednotky | [Kč] |
| C_{SV} | - Servisní náklady za 1 kWh | [Kč/kWh] |
| E_{VYR} | - Celkové množství vyrobené elektřiny | [kWh] |

Druhou položkou jsou náklady za množství zemního plynu, které se spotřebuje v KJ

$$V_{KJ} = t \cdot S_{ZP,KJ} = 3\,700 \cdot 1,65 = 6\,100 \text{ m}^3 = 64\,100 \text{ kWh} \quad (3.7)$$

$$C_{NP2} = V_{KJ} \cdot C_{ZP} = 64\,100 \cdot 1,265 = 81\,050 \text{ Kč} \quad (3.8)$$

| | | |
|-------------|---|---------------------|
| V_{KJ} | - Objem spotřebovaného plynu | [m ³] |
| C_{NP2} | - Cena zemního plynu | [Kč] |
| t | - Počet provozních hodin za rok | [h] |
| $S_{ZP,KJ}$ | - Spotřeba zemního plynu při zatížení 50% | [m ³ /h] |
| C_{ZP} | - Cena zemního plynu za 1 m ³ | [Kč/kWh] |

Poslední položkou jsou náklady na revizi komínu a revizi plynového spotřebiče

$$C_{NP3} = R_K + R_{PS} = 700 + 2\,200 = 2\,900 \text{ Kč} \quad (3.9)$$

| | | |
|-----------|-------------------------------|------|
| C_{NP3} | - Ostatní náklady | [Kč] |
| R_K | - Revize komínu | [Kč] |
| R_{PS} | - Revize plynového spotřebiče | [Kč] |

Cena za revizi plynového spotřebiče byla určena dle ceníku od firmy Revize-Vancík. Cena za 1 plynový spotřebič je 1 100 Kč, v objektu máme 2 plynové spotřebiče, KJ a plynový kotel [46]. Cena za revizi komínu byla určena z internetové stránky www.kominy.cz. [47]

3.7.3 Náklady na provoz záložního zdroje

Původní plynový kotel bude pracovat ve dvou případech. Bude sloužit na pokrytí špičkového výkonu během topné sezóny a v době odstavení KJ bude nabíjet akumulaci nádrž. Pro akumulaci nádrž, byla zjištěna doba nabíjení a doba vybíjení. Doba nabíjení byla určena na $T_{nab} = 4,5$ h a doba vybíjení akumulaci nádrže byla stanovena na $T_{vyb} = 19$ h. Doba nabíjení je doba, kdy se nabíjí akumulaci nádoba při současném provozu okruhu topení a přípravy TUV. Doba vybíjení je doba, během které dojde k vybití akumulaci nádoby při provozu po odstavení kotle. Doba vybíjení a nabíjení byla stanovena na internetových stránkách tzb-info. [48]

K zjištění množství zemního plynu, které spotřebuje plynový kotel za 1 h, se vychází z celkové dodávky tepla, kterou musel plynový kotel pokrýt.

$$S_{ZP,PK} = \frac{Q_r}{\eta_{PK} \cdot H_{s,zp}} = \frac{41\,700}{0,89 \cdot 10,5} = 4\,500 \text{ m}^3 = 5,39 \text{ kWh} \quad (3.10)$$

| | | |
|-------------|---|-------|
| $S_{ZP,PK}$ | - Spotřeba zemního plynu v plynovém kotli | [kWh] |
| Q_r | - Celková roční potřeba tepla za rok | [kWh] |
| η_{PK} | - Účinnost plynového kotle | [%] |

Kombinací akumulaci nádoby a plynového kotle se bude využívat v době, kdy se provoz KJ již nevyplatí. KJ pracuje 3 700h v topném období, tzn. že zbytek roku se bude využívat akumulaci nádrž. Akumulaci nádoba bude nabíjena jednou denně po dobu 4,5 h, zbytek dne se bude nádoba vybíjet. Během 365 dní (topná sezona trvá 263 dní) bude 155 dní teplo dodávat KJ. Po zbytek roku bude teplo dodáváno z akumulaci nádrže. Nádoba bude v provozu 210 dní a plynový kotel 4,5 h denně.

$$C_{P,PK} = S_{ZP,PK} \cdot t_{nab,AN} \cdot C_{ZP} = 5,39 \cdot 945 \cdot 1,265 = 6\,400 \text{ Kč} \quad (3.11)$$

| | | |
|--------------|--|----------|
| C_{ZP} | - Nákupní cena zemního plynu | [Kč/kWh] |
| $S_{ZP,PK}$ | - Spotřeba zemního plynu v kotli | [kWh] |
| $t_{nab,AN}$ | - Doba provozu plynového kotle při nabíjení AN | [hod] |

Další položkou jsou náklady na zemní plyn, který plynový kotel spotřebuje k pokrytí špičkového výkonu. Z diagramu roční potřeby tepla obr.3.3., bylo stanoveno teplo, které je potřeba dodat během špičkového výkonu: $Q_{PK,Z} = 5\,200 \text{ kWh}$

$$V_{KK} = \frac{Q_{PK,Z}}{\eta_{PK} \cdot H_{s,zp}} = \frac{5\,200}{0,89 \cdot 10,5} = 560 \text{ m}^3 = 5\,880 \text{ kWh} \quad (3.12)$$

$$C_{P,KK} = V_{KK} \cdot C_{ZP} = 5\,880 \cdot 1,265 = 7\,400 \text{ Kč} \quad (3.13)$$

| | | |
|-------------|--|-----------------------|
| $Q_{PK,Z}$ | - Množství tepla dodané záložním zdrojem | [kWh] |
| V_{KK} | - Objem spotřebovaného paliva v kotli | [kWh] |
| C_{NP3} | - Cena zemního plynu | [Kč] |
| C_{ZP} | - Cena zemního plynu | [Kč/kWh] |
| η_{KK} | - Účinnost plynového kotle | [%] |
| $H_{s,zp}$ | - Spalné teplo zemního plynu | [kWh/m ³] |

3.7.4 Úspory během provozu KJ

Při instalaci KJ, odpadnou náklady na energie, které se dříve musely platit, jedná se o nákup elektřiny z distribuční sítě a nákup zemního plynu pro plynový kotel. KJ pracuje 3 700h a během této doby pokryje potřebu elektřiny 1 350 kWh z celkové hodnoty 3 150 kWh.

$$C_E = E_{ES} \cdot C_{EE} = 1\,350 \cdot 5,395 = 7\,300 \text{ Kč} \quad (3.14)$$

| | | |
|----------|--|----------|
| C_E | - Cena elektřiny za 1 rok | [Kč] |
| E_{ES} | - Množství elektřiny, které jsme nemuseli dokupovat z DS | [kWh] |
| C_{EE} | - Cena elektřiny za 1 kWh | [Kč/kWh] |

Zbytek elektřiny budeme muset dokoupit z DS, tzn. že 1 800 kWh a při ceně elektřiny 5,395 Kč/kWh je to 9 700 Kč.

Původní zdroj tepla, byl plynový kotel, který sloužil pro ohřev TUV a vytápění. Kotel musel dodat 41 700 kWh/rok. Jedná se o závěsný kotel od firmy Junkers. Množství plynu se stanoví ze spalného tepla zemního plynu, množství tepelné energie a účinnosti kotle. Účinnost kotle byla odhadnuta na 89% a hodnota spalného tepla bude uvažována na $H_{s,zp} = 10,5 \text{ kWh/m}^3$.

$$C_{P,KK} = V_{KK} \cdot C_{ZP} = 47\,250 \cdot 1,265 = 59\,800 \text{ Kč} \quad (3.15)$$

$$V_{KK} = \frac{Q_{KK,Z}}{\eta_{PK} \cdot H_{s,zp}} = \frac{41\,700}{0,89 \cdot 10,5} = 4\,500 \text{ m}^3 = 47\,250 \text{ kWh} \quad (3.16)$$

| | | |
|-------------|---|-----------------------|
| $C_{P,KK}$ | - Celková cena plynu spotřebovaná kotlem | [Kč] |
| $V_{KK,P}$ | - Množství plynu spotřebovaného původním kotlem | [kWh] |
| C_{ZP} | - Nákupní cena zemního plynu | [Kč/kWh] |
| η_{KK} | - Účinnost plynového kotle | [%] |
| $H_{s,zp}$ | - Spalné teplo zemního plynu | [kWh/m ³] |

3.7.5 Zisky z provozu KJ

Zisk z prodeje elektřiny

Na rozdíl od tepelné energie, nadbytečná elektřina, která se nespotřebuje v objektu může být prodána do sítě.

$$Z_E = (E_{VYR} - E_{ES}) \cdot C_{VY} = (12\,025 - 1\,350) \cdot 0,8 = 8\,350 \text{ Kč} \quad (3.17)$$

| | | |
|-----------|---|----------|
| Z_E | - Zisk z prodeje přebytečné elektřiny | [Kč] |
| E_{VYR} | - Celkové množství vyrobené elektřiny | [kWh] |
| E_{ES} | - Množství spotřebované elektřiny, při provozu KJ | [kWh] |
| C_{VY} | - výkupní cena za 1 kWh | [Kč/kWh] |

Dotace na provoz KJ

Při provozu KJ může být využit tzv. zelený bonus, tento bonus se skládá ze základní sazby a doplňkové sazby. Výši zeleného bonusu každoročně stanovuje Energetický regulační úřad. [38]

$$C_{ZB} = E_{VYR} \cdot (ZB_{ZS} + ZB_{DS}) = 12,03 \cdot (519 + 455) = 11\,700 \text{ Kč} \quad (3.18)$$

| | | |
|------------------|--|----------|
| C _{ZB} | - Celková výše podpory na elektřinu z KVET | [Kč] |
| E _{VYR} | - Celkové množství vyrobené elektřiny | [MWh] |
| ZB _{ZS} | - Základní sazba zeleného bonusu | [Kč/MWh] |
| ZB _{DS} | - Doplnková sazba zeleného bonusu | [Kč/MWh] |

Výše základní a doplňkové sazby zeleného bonusu byly stanoveny dle přílohy č. 1 a č. 2. Jedná se o řádek 701 a sloupec *m* v příloze č.1 a v příloze č.2 řádek 779 sloupec *m*.

3.7.6 Ekonomie provozu KJ

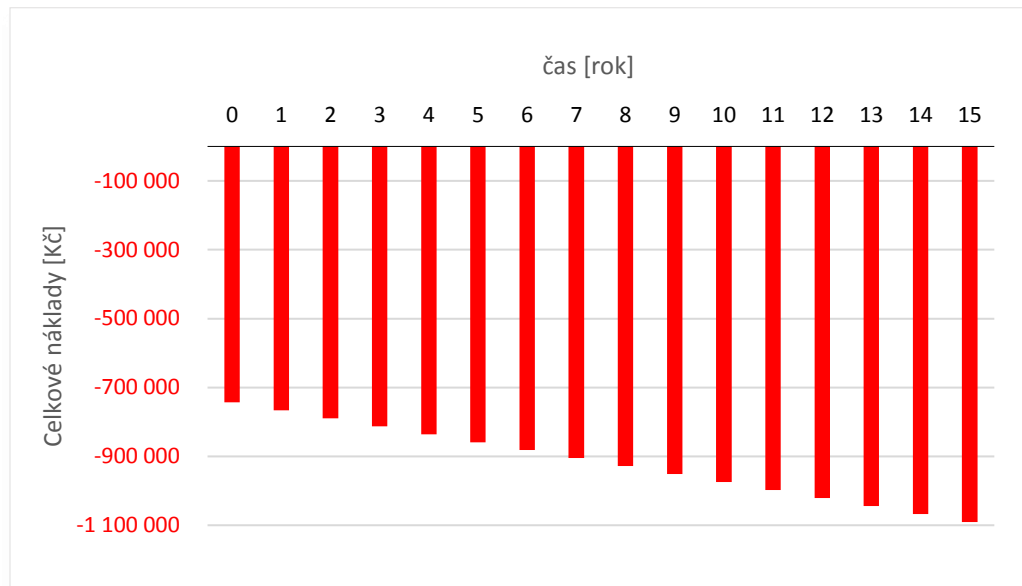
Byly vypočítány náklady a výnosy KJ během doby provozu, která trvá 3 700 h. Během této doby se vyrobilo 29,6 MWh tepla a 12,3 MWh elektřiny. Během doby, kdy KJ nebude v provozu je třeba dodat 12,1 MWh tepla ze záložního zdroje a dokoupit 1,8 MWh elektřiny z distribuční sítě. V tab.3.4. jsou shrnuty všechny náklady, zisky a úspory, které vznikly během provozu KJ při daných parametrech. Z těchto hodnot byla stanovena roční bilance. V tomto případě byly náklady na provoz 110 350 Kč a ušetřilo se 87 150 Kč. Z toho je zřejmé, že návrh je ve ztrátě 23 200 Kč viz. Tab.3.5. Na základě roční bilance byl sestrojen graf návratnost investice, při garantované životnosti KJ, která je 15 let.

Tab.3.5. *Ekonomie provozu KJ*

| Investice | Cena [Kč] |
|-------------------------------------|-----------|
| Kogenerační jednotka Vitotwin 300-W | 695 000 |
| Stavební úpravy | 5 000 |
| Akumulační nádrž | 42 800 |
| Náklady | |
| Servisní náklady | 3 000 |
| Náklady na zemní plyn | 94 850 |
| Náklady na nákup elektřiny | 9 700 |
| Revize | 2 800 |
| Úspory | |
| Elektřina | 7 300 |
| Zemní plyn | 59 800 |
| Zisk | |
| Prodej elektřiny | 8 350 |
| Zelený bonus | 11 700 |

Tab.3.6. *Celkové ekonomické shrnutí*

| Shrnutí | |
|-----------------------|------------|
| Celková investice | 742 800 Kč |
| Celkové roční náklady | 110 350 Kč |
| Celkové roční výnosy | 87 150 Kč |
| Roční bilance | -23 200 Kč |



Obr.3.5. Návratnost investice během 15 let

Z grafu je patrné, že se během 15 let návrh dostane do ztráty 1 090 000 Kč. Jelikož se KJ instalovala za účelem zisku a skončila ve velké ztrátě, tak v další variantě bude snaha o zefektivnění. Možnosti, jak zvýšit efektivitu jsou například: využívat jednotku po celý rok a v létě nadbytečné teplo využít k chlazení nebo ohřívání vody v bazénu. V další variantě bude využita varianta s vyhříváním vody ve vnitřním bazénu.

3.8 Návrh jednotky – Varianta B

Při provozu jednotky během topného období skončila jednotka ve velké roční ztrátě, proto se bude následující varianta snažit o optimalizaci. Jedním z možných řešení je ohřev vody v bazénu. Bude se jednat o vnitřní bazén s průměrnou teplotou vody 28 °C. Tepelná ztráta byla odhadnuta na 15 kWh a bazén se bude vyhřívát pouze přes otopné období. [49] Diagram potřeby tepla současné potřeby, byl navýšen o potřebu tepla k ohřívání bazénu s tep. ztrátou 15 kW. Z diagramu (obr.3.4.) bylo stanoveno teplo, které dodá KJ.

Za pomoci linearit bude zjištěno celkové teplo pro rodinný dům a bazén. Úvaha je taková, že poměr spotřeby tepla v případě s bazénem a bez bazénu odpovídá poměru vyrobeného tepla během provozu s bazénem a bez něj. [50]

$$p = \frac{Q_{C,KJ,B}}{Q_{C,KJ,A}} = \frac{59,4}{29,6} = 2 \quad (3.19)$$

$$Q_{KK,Z,B} = p \cdot Q_{KK,Z,A} = 2 \cdot 12,1 = 24,2 \text{ MWh} \quad (3.20)$$

$$Q_{CELK} = Q_{C,KJ,B} + Q_{KK,Z,B} = 59,4 + 24,2 = 83,6 \text{ MWh} \quad (3.21)$$

| | | |
|------------|---|-------|
| $Q_{C,KJ}$ | - Teplo dodané KJ (Varianty A, B) | [MWh] |
| $Q_{KK,Z}$ | - Dodané teplo z plynového kotel | [MWh] |
| Q_{CELK} | - Celková potřeba tepla | [MWh] |
| Q_{BAZ} | - Množství tepla na ohřev vody v bazénu | [MWh] |

Z obr.3.4. je vidět, že KJ bude provozována ve 3 stavech 100%, 75% a 50% výkonu. Zbytkové teplo bude dodáno záložním zdrojem. Při výkonu 100% jednotka bude pracovat 2 600h, při výkonu 75% 950h a 800 hodin bude jednotka pracovat při výkonu 50%. Jednotka

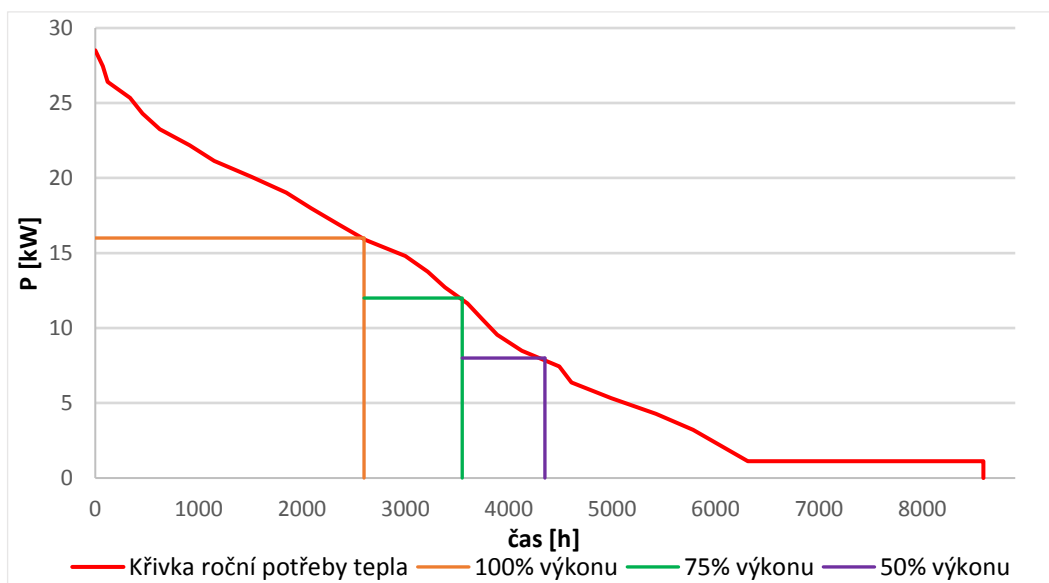
dodá během této doby: $Q_{100\%} = 41,6 \text{ MWh}$, $Q_{75\%} = 11,4 \text{ MWh}$ a $Q_{50\%} = 6,4 \text{ MWh}$ to se rovná celkovému teplu dodané KJ: $Q_{C,KJ} = 59,4 \text{ MWh}$. Zbytkové teplo $Q_Z = 24,2 \text{ MWh}$ (rovnice 3.18.) bude dodáno ze záložního zdroje. Bude opět použita KJ od firmy Tedom MICRO 7 AP. Technické parametry jsou uvedeny v tab.3.2.

Tab. 3.7. Energetická náročnost RD

| Energetická náročnost RD | | | |
|---------------------------------|-----------|----------|--------|
| Celková potřeba energie | ohřev TUV | 83,6 MWh | 301 GJ |
| | vytápění | | |
| | bazén | | |
| Množství spotřebované elektřiny | | 3,15 MWh | |

*Množství tepla pro ohřev TUV, vytápění a ohřev vody v bazéně je stanovena v rovnici 3.19.

*Množství elektřiny je stanoven v kapitole 3.3.



Obr.3.6. Roční diagram trvání potřeby tepla

3.8.1 Množství vyrobené energie v KJ

- Množství vyrobeného tepla**

$$Q_{C,KJ} = Q_{100\%} + Q_{75\%} + Q_{50\%} = 41,6 + 11,4 + 6,4 = 59,4 \text{ kWh} = 231,8 \text{ GJ} \quad (3.22)$$

Množství tepla, které jednotka dodá za topné období.

- Množství vyrobené elektřiny**

Z elektrického výkonu v jednotlivých stavech zatížení a provozních hodin se spočítá celkové množství vyrobené elektřiny v KJ.

$$\begin{aligned} E_{VYR} &= P_E \cdot t = 6,5 \cdot 2\,600 + 4,875 \cdot 950 + 3,25 \cdot 800 \\ &= 24\,150 \text{ kWh/rok} \end{aligned} \quad (3.23)$$

E_{VYR} - Množství vyrobené elektřiny

[kWh]

| | | |
|-------|---------------------------------|-------|
| P_E | - Elektrický výkon | [kWh] |
| t | - Počet provozních hodin za rok | [h] |

3.8.2 Investiční náklady na pořízení a instalaci KJ

Do investičních nákladů bude započítaná cena KJ, která je 695 000 Kč včetně DPH. Cena za akumulční nádrže, jelikož se zvýší roční spotřebu tepla, tak bude navýšen i objem akumulční nádrže. Byla zvolena akumulční nádrž Viadrus AkuCOMFORT 1 500 l. Cena nádrže se pohybuje kolem 54 000 Kč. [45] Další náklady jsou spojené s potřebnými úpravami v kotelně a úpravami vztažené kolem bazénu, kde cena byla odhadnuta na 15 000 Kč.

$$C_I = C_{KJ} + C_{SÚ} + C_{AN} = 695\,000 + 15\,000 + 54\,000 = 764\,000 \text{ Kč} \quad (3.24)$$

| | | |
|----------|------------------------------|------|
| C_I | - Celkové pořizovací náklady | [Kč] |
| C_{KJ} | - Cena za KJ včetně DPH | [Kč] |
| $C_{SÚ}$ | - Cena za stavební úpravy | [Kč] |
| C_{AN} | - Cena za akumulční nádobu | [Kč] |

3.8.3 Náklady na provoz KJ

První položkou jsou servisní náklady, výrobce udává, že servisní náklady se pohybují od 0,25 – 0,35 Kč za 1 kWh vyrobené elektřiny. Jelikož se jedná o nejmenší jednotku, kterou výrobce vyrábí, tak budou uvažovány servisní náklady 0,25 Kč/kWh vyrobené elektřiny.

$$C_{NP1} = C_{SV} \cdot E_{VYR} = 0,25 \cdot 24\,150 = 6\,050 \text{ Kč} \quad (3.25)$$

| | | |
|-----------|---------------------------------------|----------|
| C_{NP1} | - Náklady za provoz jednotky | [Kč] |
| C_{SV} | - Servisní náklady za 1 kWh | [Kč/kWh] |
| E_{VYR} | - Celkové množství vyrobené elektřiny | [kWh] |

Druhou položkou jsou náklady za množství zemního plynu, které se spotřebuje v KJ, veškeré technické specifikace jsou uvedeny v tab.3.2.

-První časový interval je 2 600h při výkonu 100%.

$$V_{KJ} = t \cdot S_{ZP} = 2\,600 \cdot 2,55 = 6\,630 \text{ m}^3 = 69\,600 \text{ kWh} \quad (3.26)$$

$$C_{NP2} = V_{KJ} \cdot C_{ZP} = 69\,600 \cdot 1,265 = 88\,000 \text{ Kč} \quad (3.27)$$

| | | |
|-----------|---|---------------------|
| V_{KJ} | - Objem spotřebovaného plynu | [m ³] |
| C_{NP2} | - Cena za zemní plyn | [Kč] |
| t | - Počet provozních hodin za rok | [h] |
| S_{ZP} | - Spotřeba zemního plynu při zatížení 50% | [m ³ /h] |
| C_{ZP} | - Cena zemního plynu za 1 m ³ | [Kč/kWh] |

-Druhý časový interval je při výkonu 75%, který je 950h

$$V_{KJ} = t \cdot S_{ZP} = 950 \cdot 2,04 = 1\,930 \text{ m}^3 = 20\,300 \text{ kWh} \quad (3.28)$$

$$C_{NP2} = V_{KJ} \cdot C_{ZP} = 20\,300 \cdot 1,265 = 25\,600 \text{ Kč} \quad (3.29)$$

| | | |
|-----------|------------------------------|-------------------|
| V_{KJ} | - Objem spotřebovaného plynu | [m ³] |
| C_{NP2} | - Cena za zemní plyn | [Kč] |

| | | |
|-----------------|---|---------------------|
| t | - Počet provozních hodin za rok | [h] |
| S _{ZP} | - Spotřeba zemního plynu při zatížení 50% | [m ³ /h] |
| C _{ZP} | - Cena zemního plynu za 1 m ³ | [Kč/kWh] |

-Třetí časový interval je 800h při výkonu 50%

$$V_{KJ} = t \cdot S_{ZP} = 800 \cdot 1,65 = 1\,320\,m^3 = 13\,850\,kWh \quad (3.30)$$

$$C_{NP2} = V_{KJ} \cdot C_{ZP} = 13\,850 \cdot 1,265 = 17\,500\,Kč \quad (3.31)$$

| | | |
|------------------|---|---------------------|
| V _{KJ} | - Objem spotřebovaného plynu | [m ³] |
| C _{NP2} | - Cena za zemní plyn | [Kč] |
| t | - Počet provozních hodin za rok | [h] |
| S _{ZP} | - Spotřeba zemního plynu při zatížení 50% | [m ³ /h] |
| C _{ZP} | - Cena zemního plynu za 1 m ³ | [Kč/kWh] |

Poslední položkou jsou náklady na revizi komínu a revizi plynového spotřebiče

$$C_{NP3} = R_K + R_{PS} = 700 + 2\,200 = 2\,900\,Kč \quad (3.32)$$

| | | |
|------------------|-------------------------------|------|
| C _{NP3} | - Ostatní náklady | [Kč] |
| R _K | - Revize komínu | [Kč] |
| R _{PS} | - Revize plynového spotřebiče | [Kč] |

Cena za revizi plynového spotřebiče byla určena dle ceníku od firmy Revize-Vancík. Cena za 1 plynový spotřebič je 1 100 Kč, v objektu máme 2 plynové spotřebiče, KJ a plynový kotel [46]. Cena za revizi komínu byla určena z internetové stránky www.kominy.cz. [47]

3.8.4 Náklady na provoz záložního zdroje

Stejně jako ve variantě A bude využita akumulční nádoba na zefektivnění návrhu. Z diagramu trvání teplot obr.3.4. se přibližně stanovilo množství tepla, které se musí dodat v době kdy je KJ mimo provoz $Q_{AN} = 8\,200\,kWh$. Doba nabíjení akumulční nádrže byla stanovena na $T_{nab,AN} = 5,5\,h$ a zbytek dne se nádoba vybíjí. [48] Podobně jako ve variantě A bude akumulční nádoba pracovat během odstavení KJ. Kogenerační jednotka pracuje 184 dní zbytek roku se bude využívat akumulční nádrž, takže plynový kotel bude nabíjet akumulční nádrž po dobu 181 dní 5,5 h denně. Spotřeba plynu byla vypočítána v rovnici 3.8.

$$C_{P,PK} = S_{ZP,PK} \cdot t_{nab,AN} \cdot C_{ZP} = 5,39 \cdot 995 \cdot 1,265 = 6\,800\,Kč \quad (3.33)$$

| | | |
|---------------------|--|----------|
| C _{ZP} | - Nákupní cena zemního plynu | [Kč/kWh] |
| S _{ZP,PK} | - Spotřeba zemního plynu v kotli | [kWh] |
| t _{nab,AN} | - Doba provozu plynového kotle při nabíjení AN | [hod] |

Špičkový výkon, který jednotka není schopna pokrýt, bude stejně jako pro nabíjení akumulční nádrže použit plynový kotel. Množství tepla bylo odhadnuta z diagramu trvání potřeby tepla obr.3.4., na 16 000 kWh.

$$V_{KK} = \frac{Q_{KK,Z}}{\eta_{PK} \cdot H_{s,zp}} = \frac{16\,000}{0,89 \cdot 10,5} = 1\,700\,m^3 = 17\,850\,kWh \quad (3.34)$$

$$C_{P,KK} = V_{KK} \cdot C_{ZP} = 17\,850 \cdot 1,265 = 22\,550 \text{ Kč} \quad (3.35)$$

| | | |
|-------------|--|-----------------------|
| $Q_{KK,Z}$ | - Množství tepla dodané záložním zdrojem | [kWh] |
| V_{KK} | - Objem spotřebovaného paliva v plynovém kotli | [kWh] |
| C_{NP3} | - Cena zemního plynu | [Kč] |
| C_{ZP} | - Cena zemního plynu | [Kč/kWh] |
| η_{KK} | - Účinnost plynového kotle | [%] |
| $H_{s,zp}$ | - Spalné teplo zemního plynu | [kWh/m ³] |

3.8.5 Úspory během provozu KJ

Při instalaci KJ odpadnou náklady na energie, které se dříve musely platit, jedná se o nákup elektřiny z distribuční sítě a nákup zemního plynu pro kotel.

$$C_E = E_{ES} \cdot C_{EE} = 1\,585 \cdot 5,395 = 8\,560 \text{ Kč} \quad (3.36)$$

| | | |
|----------|--|----------|
| C_E | - Cena elektřiny za 1 rok | [Kč] |
| E_{ES} | - Množství elektřiny, které jsme nemuseli dokupovat z DS | [kWh] |
| C_{EE} | - Cena elektřiny za 1 kWh | [Kč/kWh] |

Množství plynu, které bylo spotřebováno původním plynovým kotlem.

$$V_{KK} = \frac{Q_{KK,P}}{\eta_{PK} \cdot H_{s,zp}} = \frac{83\,600}{0,89 \cdot 10,5} = 8\,950 \text{ m}^3 = 93\,975 \text{ kWh} \quad (3.37)$$

$$C_{P,KK} = V_{KK} \cdot C_{ZP} = 93\,975 \cdot 1,265 = 118\,900 \text{ Kč} \quad (3.38)$$

| | | |
|-------------|---|-----------------------|
| $C_{P,KK}$ | - Celková cena plynu spotřebovaná kotlem | [Kč] |
| $V_{KK,P}$ | - Množství plynu spotřebovaného původním kotlem | [kWh] |
| C_{ZP} | - Nákupní cena zemního plynu | [Kč/kWh] |
| η_{KK} | - Účinnost plynového kotle | [%] |
| $H_{s,zp}$ | - Spalné teplo zemního plynu | [kWh/m ³] |

3.8.6 Zisky z provozu KJ

Zisk z prodeje elektřiny

Na rozdíl od tepelné energie, nadbytečná elektřina, která se nespotřebujeme v objektu může být prodána do sítě.

$$Z_E = (E_{VYR} - E_{ES}) \cdot C_{VY} = (24\,150 - 1\,585) \cdot 0,8 = 18\,050 \text{ Kč} \quad (3.39)$$

| | | |
|-----------|---|----------|
| Z_E | - Zisk z prodeje přebytečné elektřiny | [Kč] |
| E_{VYR} | - Celkové množství vyrobené elektřiny | [kWh] |
| E_{ES} | - Množství spotřebované elektřiny, při provozu KJ | [kWh] |
| C_{VY} | - výkupní cena za 1 kWh | [Kč/kWh] |

Dotace na provoz KJ

Při provozu KJ bude čerpán tzv. zelený bonus, tento bonus se skládá ze základní sazby zeleného bonusu a doplňkové sazby. Výši zeleného bonusu každoročně stanovuje Energetický regulační úřad. [38]

$$C_{ZB} = E_{VYR} \cdot (ZB_{ZS} + ZB_{DS}) = 24,15 \cdot (519 + 455) = 23\,550 \text{ Kč} \quad (3.40)$$

| | | |
|-----------|--|----------|
| E_{VYR} | - Celkové množství vyrobené elektřiny | [MWh] |
| C_{ZB} | - Celková výše podpory na elektřinu z KVET | [Kč] |
| ZB_{ZS} | - Základní sazba zeleného bonusu | [Kč/MWh] |
| ZB_{DS} | - Doplnková sazba zeleného bonusu | [Kč/MWh] |

Výše základní a doplňkové sazby zeleného bonusu byly stanoveny dle přílohy č. 1 a č. 2. Jedná se o řádek 701 a sloupec m v příloze č.1 a v příloze č.2 řádek 779 sloupec m .

3.8.7 Ekonomie provozu KJ

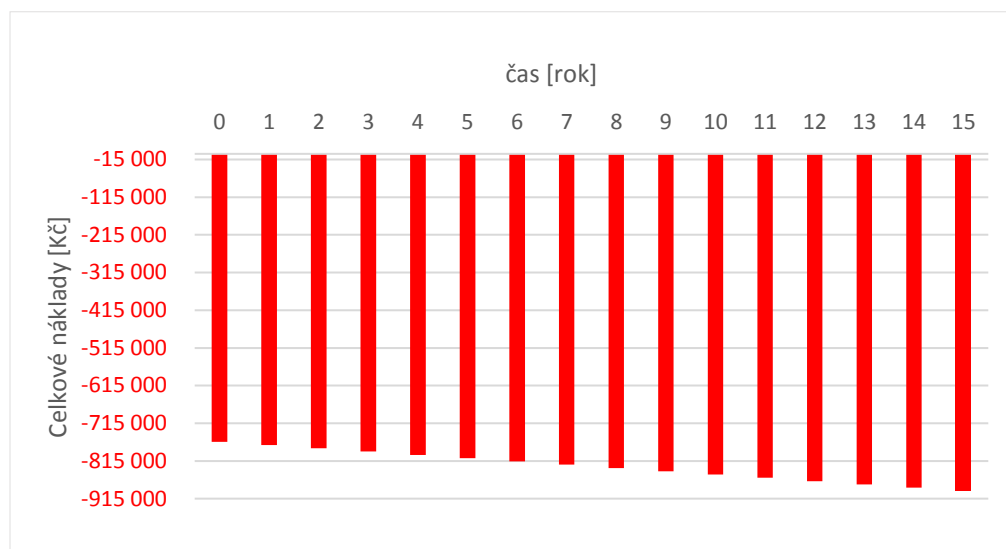
Během provozu KJ se vyrobilo 59,4 MWh tepla a 24,15 MWh elektřiny. V době, kdy bude KJ mimo provoz bude potřeba dodat 1,565 MWh elektřiny a 24,2 MWh tepla. Byla vypočítána roční bilance -8 700 Kč, na základě toho byl sestaven graf návratnosti investice.

Tab.3.8. Ekonomie provozu KJ

| Investice | Cena [Kč] |
|--|-----------|
| Kogenerační jednotka Tedom Micro 7 AP | 695 000 |
| Stavební úpravy | 15 000 |
| Akumulační nádrž | 54 000 |
| Náklady | |
| Servisní náklady | 6 050 |
| Nákup energií – zemní plyn | 160 450 |
| Nákup energií – elektřina | 8 450 |
| Revize | 2 800 |
| Úspory | |
| Elektřina | 8 560 |
| Zemní plyn | 118 900 |
| Zisk | |
| Prodej elektřiny | 18 050 |
| Zelený bonus | 23 550 |

Tab.3.9. Celkové ekonomické shrnutí

| | |
|-----------------------|------------|
| Shrnutí | |
| Celková investice | 764 000 Kč |
| Celkové roční náklady | 177 760 Kč |
| Celkové roční výnosy | 169 060 Kč |
| Roční bilance | - 8 700 Kč |



Obr.3.7. Návrh investice během 15 let

Z roční bilance a průběhu grafu je vidět, že ani navýšení roční potřeby tepla nevedlo ke kladné roční bilanci. Během této doby jsme se dostali do ztráty 895 000 Kč. Proto se pokusíme změnit typ jednotky o menším jmenovitém výkonu.

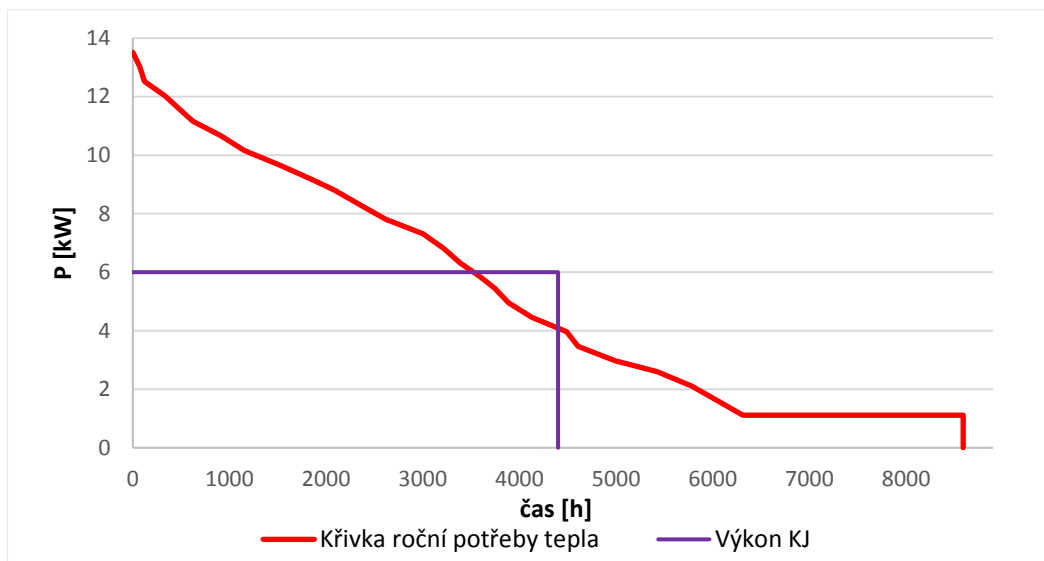
3.9 Návrh jednotky – Varianta C

Na základě předešlých dvou variant, byla zvolena KJ o menším jmenovitém výkonu od firmy Viessmann model Vitotwin 300-W. Jedná se o mikrokogenerační jednotku se Stirlingovým motorem s elektrickým výkonem 1 kW a 6 kW tepelných. Součástí KJ je také kondenzační plynový kotel, který slouží na pokrytí špičkového zatížení. Cena se pohybuje kolem 300 000 Kč za jednotku, v ceně je zahrnuta KJ spolu s kondenzačním kotlem.

Tab. 3.10. Technické parametry KJ

| Technické parametry KJ | | |
|-------------------------------------|-------------------|--------|
| Elektrický výkon [kW _e] | | 1 |
| Tepelný výkon [kW _t] | Stirlingův motor | 6 |
| | Kondenzační kotel | 4,8-20 |
| Účinnost [%] | Stirlingův motor | 96 |
| | Kondenzační kotel | 98 |
| Provozní hodiny za rok | | 4 400 |

Opět bude k určení provozních parametrů využit diagram trvání spotřeby tepla. Z obr.3.4. je vidět, že při výkonu jednotky 6 kW a provozních hodin 4 400h se pokryje většinová potřeba tepla. Plocha pod červenou křivkou odpovídá roční potřebě rodinného domu po teple $Q_F=41,7$ MWh. Plocha pod fialovou křivkou odpovídá teplu dodané jednotkou: $Q_{KJ} = 26,4$ MWh. Zbytek tepla dodá kondenzační kotel, který je součástí jednotky.



Obr. 3.8. Roční diagram trvání potřeby tepla

Tab. 3.11. Energetická náročnost RD

| Energetická náročnost RD | | | |
|---------------------------------|-----------|--------------|--------------|
| Celková potřeba energie | ohřev TUV | 8,8 MWh/rok | 31,56 GJ/rok |
| | vytápění | 33 MWh/rok | 118,7 GJ/rok |
| Množství spotřebované elektřiny | | 3,15 MWh/rok | |

*Množství energie pro ohřev TUV a vytápění, jsou vypočítány na obr. 3.1.

*Množství elektřiny je stanoven pod obr. 3.1.

3.9.1 Množství vyrobené energie v KJ

- Množství vyrobené tepelné energie

$$Q_{VYR} = P_T \cdot t = 6 \cdot 4400 = 26\,400 \text{ kWh} = 95 \text{ GJ} \quad (3.41)$$

| | | |
|-----------|-----------------------------------|-------|
| Q_{VYR} | - Množství vyrobeného tepla | [kWh] |
| P_T | - Teplený výkon při 100% zatížení | [kWh] |
| t | - Počet provozních hodin za rok | [h] |

V tomto případě KJ nedodá takové množství energie, aby byla pokryta potřeba tepla RD, proto bude využit kondenzační kotel, který je součástí jednotky.

- Množství vyrobené elektřiny

$$E_{VYR} = P_{E50\%} \cdot t = 1 \cdot 4\,400 = 4\,400 \text{ kWh/rok} \quad (3.42)$$

| | | |
|-------------|---|-------|
| E_{VYR} | - Množství vyrobené elektrické energie při 50% výkonu | [kWh] |
| $P_{E50\%}$ | - Elektrický výkon při 50% zatížení | [kWh] |
| t | - Počet provozních hodin za rok | [h] |

3.9.2 Investiční náklady na pořízení a instalaci KJ

Jak už bylo zmíněno, cena za jednotku se pohybuje kolem 300 000 Kč a cenu akumulární nádoby byla stanovena v kapitole 3.6. Náklady na stavební úpravy byly odhadnuty na 5 000 Kč.

$$C_I = C_{KJ} + C_{SÚ} + C_{AN} = 300\,000 + 5\,000 + 41\,800 = 346\,800 \text{ Kč} \quad (3.43)$$

| | | |
|----------|------------------------------|------|
| C_I | - Celkové pořizovací náklady | [Kč] |
| C_{KJ} | - Cena za KJ včetně DPH | [Kč] |
| $C_{SÚ}$ | - Cena za stavební úpravy | [Kč] |
| C_{AN} | - Cena za akumulční nádobu | [Kč] |

3.9.3 Náklady na provoz KJ

První položkou jsou servisní náklady, výrobce udává, že servisní náklady jsou 250 Kč za 1 MWh vyrobené elektřiny.

$$C_{NP1} = C_{SV} \cdot E_{VYR} = 250 \cdot 4,4 = 1\,100 \text{ Kč} \quad (3.44)$$

| | | |
|-----------|---------------------------------------|----------|
| C_{NP1} | - Náklady za provoz jednotky | [Kč] |
| C_{SV} | - Servisní náklady za 1 MWh elektřiny | [Kč/MWh] |
| E_{VYR} | - Celkové množství vyrobené elektřiny | [MWh] |

Druhou položkou jsou náklady za množství zemního plynu, které se spotřebuje v KJ

$$V_{KK} = \frac{Q_{KK,P}}{\eta_{PK} \cdot H_{s,zp}} = \frac{26\,400}{0,96 \cdot 10,5} = 2\,620 \text{ m}^3 = 27\,500 \text{ kWh} \quad (3.45)$$

$$C_{P,KK} = V_{KK} \cdot C_{ZP} = 27\,500 \cdot 1,265 = 34\,800 \text{ Kč} \quad (3.46)$$

| | | |
|-------------|---|-----------------------|
| $C_{P,KK}$ | - Celková cena plynu spotřebovaného KJ | [Kč] |
| $V_{KK,P}$ | - Množství spotřebovaného zemního plynu | [kWh] |
| C_{ZP} | - Nákupní cena zemního plynu | [Kč/kWh] |
| η_{KK} | - Účinnost KJ | [%] |
| $H_{s,zp}$ | - Spalné teplo zemního plynu | [kWh/m ³] |

Poslední položkou jsou náklady na revizi komínu a revizi plynového spotřebiče

$$C_{NP3} = R_K + R_{PS} = 700 + 1\,100 = 1\,800 \text{ Kč} \quad (3.47)$$

| | | |
|-----------|-------------------------------|------|
| C_{NP3} | - Ostatní náklady | [Kč] |
| R_K | - Revize komínu | [Kč] |
| R_{PS} | - Revize plynového spotřebiče | [Kč] |

Cena za revizi plynového spotřebiče byla určena dle ceníku od firmy Revize-Vancík. Cena za revizi komínu byla určena z internetové stránky www.kominy.cz. [47] [46]

3.9.4 Náklady na provoz záložního zdroje

Součástí KJ je plynový kondenzační kotel, který slouží na pokrytí špičkového výkonu a při vypnutí KJ bude kondenzační kotel využíván k nabíjení akumulční nádrže. V našem případě KJ pracuje 4 400 h (184 dní) v roce, zbytek roku (181 dní) bude využívána akumulční nádrž. Z internetových stránek tzb-info, [48] byla stanovena doba nabíjení akumulční nádrže $T_{nab,AN} = 4,5$ h. Po nabití bude akumulční nádobu dodávat teplo po zbytek dne. Po dobu využívání akumulční nádrže bude dodáno teplo: $Q_{AN} = 6\,200 \text{ kWh}$ (tato hodnota byla odhadnuta z diagramu trvání tepla, obr.3.5.). Z celkové potřeby tepla, spalného tepla zemního

plynu a účinnosti kondenzačního kotle (tab. 3.9.) se zjistí hodinová spotřeba plynu kondenzačního kotle.

$$S_{ZP,PK} = \frac{Q_r}{\eta_{PK} \cdot H_{s,zp}} = \frac{41\,700}{0,98 \cdot 10,5} = 4\,050 \text{ m}^3 = 4,85 \text{ kWh} \quad (3.48)$$

| | | |
|-------------|---|-------|
| $S_{ZP,PK}$ | - Spotřeba zemního plynu v plynovém kotli | [kWh] |
| Q_r | - Celková roční potřeba tepla za rok | [kWh] |
| η_{PK} | - Účinnost plynového kotle | [%] |

Po zjištění hodinové spotřeby, se spočítají náklady na provoz kondenzačního kotle, který nabíjí akumulární nádrž po dobu 181 dní a nabíjení 4,5 h za den jsou vypočítány náklady.

$$C_{P,PK} = S_{ZP,PK} \cdot t_{nab,AN} \cdot C_{ZP} = 4,85 \cdot 814 \cdot 1,265 = 4\,450 \text{ Kč} \quad (3.49)$$

| | | |
|--------------|--|----------|
| C_{ZP} | - Nákupní cena zemního plynu | [Kč/kWh] |
| $S_{ZP,PK}$ | - Spotřeba zemního plynu v kotli | [kWh] |
| $t_{nab,AN}$ | - Doba provozu plynového kotle při nabíjení AN | [hod] |

Jelikož KJ není schopna pokrýt špičkovou potřebu tepelné energie, musí se použít kondenzační kotel k pokrytí toho výkonu. Z diagramu potřeby tepla obr.3.5. se stanovila, přibližná hodnota tepla $Q_{KK,Z} = 10\,000 \text{ kWh}$, kterou musí kotel dodat během špiček.

$$V_{KK} = \frac{Q_{KK,Z}}{\eta_{PK} \cdot H_{s,zp}} = \frac{10\,000}{0,98 \cdot 10,5} = 970 \text{ m}^3 = 10\,200 \text{ kWh} \quad (3.50)$$

$$C_{P,KK} = V_{KK} \cdot C_{ZP} = 10\,200 \cdot 1,265 = 12\,900 \text{ Kč} \quad (3.51)$$

| | | |
|-------------|--|-----------------------|
| $Q_{KK,Z}$ | - Množství tepla dodané záložním zdrojem | [kWh] |
| V_{KK} | - Objem spotřebovaného paliva v kondenzačním kotli | [kWh] |
| C_{NP3} | - Cena zemního plynu | [Kč] |
| η_{KK} | - Účinnost kondenzačního kotle | [%] |
| $H_{s,zp}$ | - Spalné teplo zemního plynu | [kWh/m ³] |

3.9.5 Úspory během provozu KJ

Při instalaci KJ odpadnou náklady na energie, které se dříve musely platit, jedná se o nákup elektřiny z distribuční sítě a nákup zemního plynu pro kondenzační kotel.

$$C_E = E_{ES} \cdot C_{EE} = 1\,585 \cdot 5,395 = 8\,560 \text{ Kč} \quad (3.52)$$

| | | |
|----------|-----------------------------------|----------|
| C_E | - Cena elektřiny za 1 rok | [Kč] |
| E_{ES} | - Množství spotřebované elektřiny | [kWh] |
| C_{EE} | - Cena elektřiny za 1 kWh | [Kč/kWh] |

Původní zdroj tepla, byl plynový kotel, který sloužil pro ohřev TUV a vytápění. Kotel musel dodat 41 700 kWh/rok. Jedná se o zastaralý závěsný kotel od firmy Junkers. Množství plynu se vypočítá ze spalného tepla zemního plynu, množství tepelné energie a účinnosti kotle. Účinnost kotle byla odhadnuta na 89% a hodnotu spalného tepla budeme uvažovat $H_{s,zp} = 10,5 \text{ kWh/m}^3$.

$$V_{KK} = \frac{Q_{KK,P}}{\eta_{PK} \cdot H_{s,zp}} = \frac{41\,700}{0,89 \cdot 10,5} = 4\,500 \text{ m}^3 = 47\,250 \text{ kWh} \quad (3.53)$$

$$C_{P,KK} = V_{KK} \cdot C_{ZP} = 47\,250 \cdot 1,265 = 59\,800 \text{ Kč} \quad (3.54)$$

| | | |
|-------------|---|-----------------------|
| $C_{P,KK}$ | - Celková cena plynu spotřebovaná kotlem | [Kč] |
| $V_{KK,P}$ | - Množství plynu spotřebovaného původním kotlem | [kWh] |
| C_{ZP} | - Nákupní cena zemního plynu | [Kč/kWh] |
| η_{KK} | - Účinnost plynového kotle | [%] |
| $H_{s,zp}$ | - Spalné teplo zemního plynu | [kWh/m ³] |

3.9.6 Zisky z provozu KJ

Zisk z prodeje elektřiny

Na rozdíl od tepelné energie, nadbytečná elektřina může být prodána do sítě. Během provozu KJ (4 400h) se pokryje potřeba elektřiny: $E_{ES} = 1\,565 \text{ kWh}$. Proto se musí zbytek elektřiny dokoupit z DS: $E_{Dok,DS} = 1\,585 \text{ kWh}$ (8 450 Kč).

$$Z_E = (E_{VYR} - E_{ES}) \cdot C_{VY} = (4\,400 - 1\,565) \cdot 0,8 = 2\,270 \text{ Kč} \quad (3.55)$$

| | | |
|-----------|---|----------|
| Z_E | - Zisk z prodeje přebytkové elektřiny | [Kč] |
| E_{VYR} | - Celkové množství vyrobené elektřiny | [kWh] |
| E_{ES} | - Množství spotřebované elektřiny, při provozu KJ | [kWh] |
| C_{VY} | - výkupní cena za 1 kWh | [Kč/kWh] |

Dotace na provoz KJ

Provoz KJ je dotován z tzv. zeleného bonusu, který stanovuje Energetický regulační úřad. Bonus se skládá ze základní a bonusové sazby. [38]

$$C_{ZB} = E_{VYR} \cdot (ZB_{ZS} + ZB_{DS}) = 4,4 \cdot (519 + 455) = 4\,290 \text{ Kč} \quad (3.56)$$

| | | |
|-----------|--|----------|
| C_{ZB} | - Celková výše podpory na elektřinu z KVET | [Kč] |
| E_{VYR} | - Celkové množství vyrobené elektřiny | [MWh] |
| ZB_{ZS} | - Základní sazba zeleného bonusu | [Kč/MWh] |
| ZB_{DS} | - Doplnková sazba zeleného bonusu | [Kč/MWh] |

Výše základní a doplňkové sazby zeleného bonusu byly stanoveny dle přílohy č. 1 a č. 2. Jedná se o řádek 701 a sloupec m v příloze č. 1 a v příloze č.2 řádek 779 sloupec m .

3.9.7 Ekonomie provozu KJ

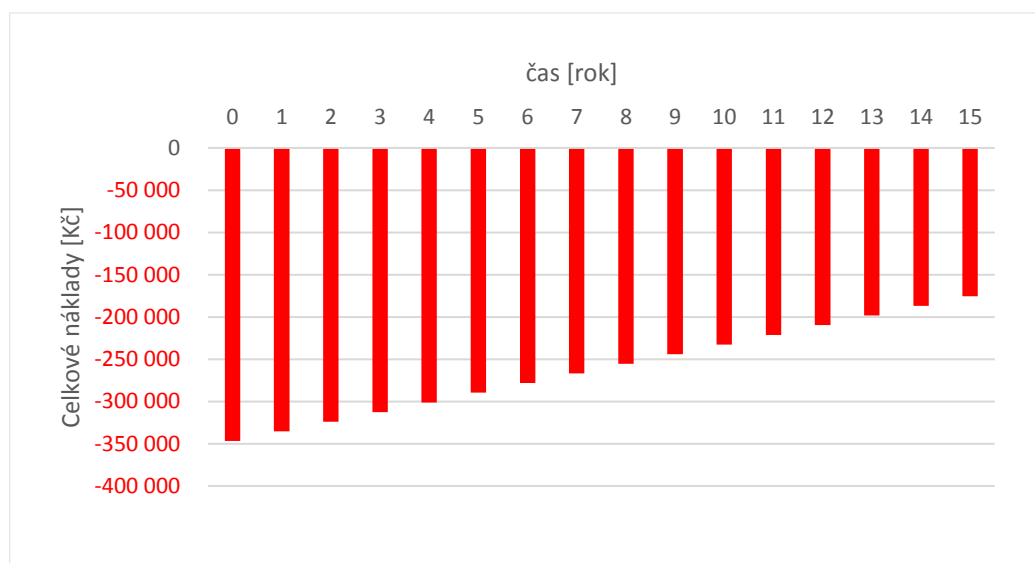
Při pořízení KJ o menším max. výkonu a změně technologie se podařilo ušetřit 11 420 Kč. KJ dodala 26,4 MWh tepla a 4,4 MWh elektřiny. Opět se bude muset dodat 1,585 MWh elektřiny ze sítě a 15,3 MWh tepla ze záložního zdroje. Na základě hodnot z tab.3.12. byl sestaven graf návratnosti investice.

Tab.3.12. *Ekonomie provozu KJ*

| Investice | Cena [Kč] |
|-------------------------------------|-----------|
| Kogenerační jednotka Vitotwin 300-W | 300 000 |
| Stavební úpravy | 5 000 |
| Akumulační nádrž | 41 800 |
| Náklady | |
| Servisní náklady | 1 100 |
| Nákup energií – zemní plyn | 51 690 |
| Nákup energií – elektřina | 8 450 |
| Revize | 1800 |
| Úspory | |
| Elektřina | 8 560 |
| Zemní plyn | 59 800 |
| Zisk | |
| Prodej elektřiny | 2 270 |
| Zelený bonus | 4 290 |

Tab.3.13. *Shrnutí ekonomie provozu*

| Shrnutí | |
|-----------------------|------------|
| Celková investice | 345 800 Kč |
| Celkové roční náklady | 63 500 Kč |
| Celkové roční výnosy | 74 920 Kč |
| Roční balance | 11 420 Kč |



Obr.3.9. *Návratnost investice během 15 let*

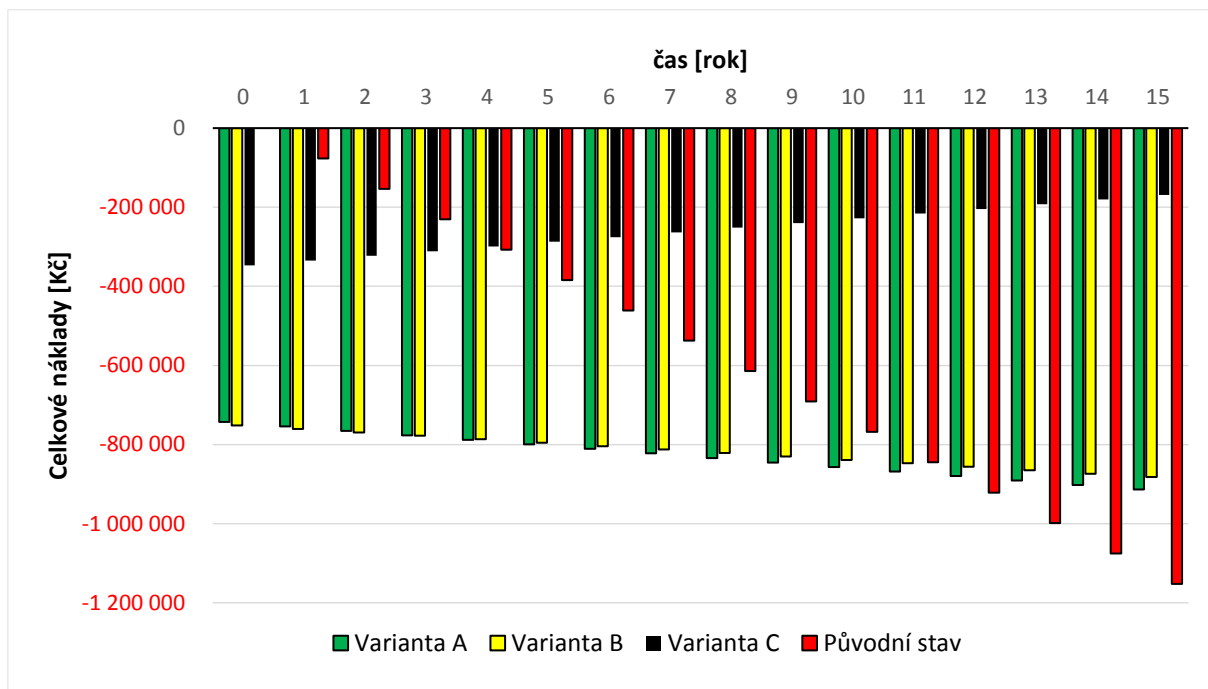
Při současném ročním zisku a garantované životnosti 15 let je vidět, že ani po dané optimalizace návrhu se nepodařilo zajistit návratnost investice. Celková návratnost systému je 30 let.

3.10 Zhodnocení navržených systémů

Následující tabulka porovnává veškerá data, která byla vypočítána pro jednotlivé varianty. Zároveň byly dopočítány náklady na elektřinu, kterou KJ nedodala během doby kdy byla vypnuta. V grafu 3.4. jsou jednotlivé varianty porovnány s původním stavem, kde bylo teplo vyráběno v plynovém kotli a elektřina byla dodávána ze sítě.

Tab.3.14. Porovnání všech výsledků

| | Varianta A | Varianta B | Varianta C | |
|-----------------------------|------------------|------------------|--------------------------|-----------------|
| Typ jednotky | Tedom Micro 7 AP | Tedom Micro 7 AP | Viessmann Vitotwin 300-W | Oddělená výroba |
| Elektrický výkon | 3,25 kW | 6,5;4,8;3,25 kW | 1 kW | |
| Tepelný výkon | 8 kW | 16;12;8 kW | 6 kW | |
| Provozní hodiny | 3 700 h | 4 400 h | 4 400 h | |
| Vyrobené elektřiny | 14 300 kWh | 24 150 kWh | 4 400 kWh | |
| Vyrobeného tepla KJ | 28 000 kWh | 59400 kWh | 26 500 kWh | |
| Elektřina prodaná do sítě | 12 715 kWh | 22 565 kWh | 2 815 kWh | |
| Elektřina dokoupená ze sítě | 1 800 kWh | 1 565 kWh | 1 565 kWh | 3 150 kWh |
| Teplo vyrobené mimo KJ | 13 700 kWh | 24 200 kWh | 15 200 kWh | 41 700 kWh |
| Ekonomie provozu KJ | | | | |
| Investiční náklady | 742 800 Kč | 751 800 Kč | 346 800 Kč | |
| Nákup elektřiny ze sítě | 9 700 Kč | 8 450 Kč | 8 450 Kč | 17 000 Kč |
| Náklady na zemní plyn | 94 850 Kč | 160 450 Kč | 51 250 Kč | 59 810 Kč |
| Ostatní náklady | 6 375 Kč | 8 850 Kč | 2 900 Kč | |
| Úspory za ZP a elektřinu | 68 360 Kč | 127 460 Kč | 68 360 Kč | |
| Zisk z prodeje elektřiny | 8 350 Kč | 18 050 Kč | 2 270 Kč | |
| Zelený bonus | 11 700 Kč | 23 550 Kč | 4 290 Kč | |
| Roční bilance | -23 200 Kč | -8 700 Kč | 11 420 Kč | -76 810 Kč |



Obr.3.10. Návratnost investice jednotlivých variant

Z grafu 3.4. je vidět, že varianty A a B jsou po 15 letech ve ztrátě přibližně 900 000 Kč, ale v porovnání s původním stavem jde o zlepšení. Ušetřilo se téměř 220 000 Kč. Ze všech návrhů dopadla varianta C nejlépe, i když se nám investice nezaplatila v porovnání s původním stavem jsme dosáhli úsporu 990 000 Kč.

4. ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo provést přehled kogeneračních jednotek vhodných pro rodinné domy a rekreační objekty. Zpracovat základní právní rámce, které musí být splněny pro instalaci mikrokogeneračních jednotek a v praktické části navrhnout KJ pro námi zvolený rodinný dům.

V úvodní kapitole je prezentován základní přehled kogeneračních jednotek. Hlavní výhodou je využití odpadního tepla, které je u klasických zdrojů vyrábějící elektřinu vypouštěno do okolí. Právě využití odpadního tepla zvyšuje účinnost kogeneračních jednotek a často přesahující 90%. S vysokou účinností dochází k vyššímu využití primárního paliva. Nevýhody jsou velké investiční náklady na pořízení KJ. Z vybraných jednotek vhodných pro kogeneraci, byly zvoleny tři technologie, které jsou vhodné pro mikrokogeneraci. První technologií jsou jednotky se spalovacím motorem. S tímto typem jednotek se můžeme setkat nejčastěji. Dalšími druhy jsou jednotky se Stirlingovým motorem a palivovými články. V budoucnu by se mezi tyto jednotky mohly přidat i KJ s mikroturbínou.

V druhé části byl proveden průzkum a vytvořen přehled právních náležitostí, které musí být splněny k instalaci a provozu mikrokogenerační jednotky.

Poslední část byla zaměřena na návrh mikrokogenerační jednotky pro zvolený rodinný dům. Roční potřeba tepla byla stanovena podle online kalkulačky a roční spotřeba elektřiny byla určena z faktury pro dané období. V první variantě byla zvolena kogenerační jednotka Tedom Micro 7 AP se spalovacím motorem o elektrickém výkonu 6,5 kW a tepelném výkonu 16 kW s možností regulace výkonu. Tato varianta se při roční ztrátě 23 200 Kč ukázala jako nevhodná. V druhé variantě bylo snahou zefektivnění první varianty, kdy byla zvýšena roční potřeba tepla pro ohřev vody v bazénu. I přes zvýšení roční potřeby tepla byla dosahována ztráta ve výši 8 700 Kč. V poslední variantě byla zvolena KJ o menším jmenovitém tepelném výkonu. Byla zvolena jednotka Vitotwin 300-W od firmy Viessmann se Stirlingovým motorem o elektrickém výkonu 1 kW a tepelném výkonu 6 kW. Součástí jednotky je špičkový kondenzační kotel. Tato varianta se při ročním zisku 11 420 Kč ukázala jako nejvhodnější. Ale i přes kladnou roční úsporu nákladů je návratnost 30 let. Na závěr byly porovnány jednotlivé navrhované varianty s původním stavem. Ukázalo se, že u variant A a B i přes velké roční ztráty došlo vzhledem k původnímu stavu ke zlepšení. V obou případech se dosáhlo úspory kolem 220 000 Kč. Varianta C se jako jediná dostala do ročního zisku. Roční zisk nebyl tak velký, aby se investice do jednotky vrátilo. Přesto se dosáhlo vzhledem k původnímu stavu k úspoře 990 000 Kč.

Kogenerační jednotky mají jako zdroj energie v rodinných domech velkou budoucnost, ale kvůli vysokým investičním nákladům budeme muset ještě nějakou dobu počkat, než se stanou běžnou součástí našich životů.

5. Citovaná literatura

- [1] *Bureau of Energy Efficiency* [online]. b.r. [cit. 2019-02-09]. Dostupné z: <https://www.beeindia.gov.in/sites/default/files/2Ch7.pdf>
- [2] NOVÁK, Jiří. *Vysokoúčinná kombinovaná výroba elektřiny a tepla: Kogenerační jednotka a její využití v potravinářském průmyslu* [online]. b.r. [cit. 2019-03-16]. Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/data-ftp-user/konference/2017/Energie_pr_obudoucnost_XXII_MSV2017/08-Nov%C3%A1k_Kogenerace.pdf
- [3] *Student Energy* [online]. b.r. [cit. 2019-02-09]. Dostupné z: https://www.studentenergy.org/to_pics/cogeneration
- [4] KRBEK, Jaroslav, Ladislav OCHRANA a Bohumil POLESNÝ. *Zásobování teplem a kogenerace*. Vyd. 1. Brno: PC-DIR Real, 1999. Učební texty vysokých škol. ISBN 80-214-1347-6.
- [5] *Teplo Bruntál a.s. : Pojmy v teplotě* [online]. b.r. [cit. 2019-02-09]. Dostupné z: <http://www.teplobr.cz/pojmy-v-teplotě/d-1068>
- [6] KARAFIÁT, Josef. *Sborník technických řešení zdrojů s kombinovanou výrobou elektřiny a tepla* [online]. Praha, 2006 [cit. 2019-02-18]. Dostupné z: <https://www.mpo-efekt.cz/dokument/15.pdf>
- [7] *Kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie: Kogenerace* [online]. b.r. [cit. 2019-03-30]. Dostupné z: http://www.ueen.feec.vutbr.cz/~mastny/vyuka/m_mze/predna_sky/07_08_pr.pdf
- [8] KRBEK, Jaroslav a Bohumil POLESNÝ. *Kogenerační jednotky - Zřizování a provoz* [online]. Praha, 2007 [cit. 2019-02-09]. ISBN 978-80-7328-151-9.
- [9] MASTNÝ, Petr. *Studijní podklady předmětu Malé zdroje elektrické energie*. Brno: UEEN FEKT VUT, 2013. Dostupné také z: http://www.ueen.feec.vutbr.cz/cz/images/stories/OPVK_ePower/MMZE/Ucební_text_MMZE_3.pdf
- [10] *Cogeneration & Trigeneration - How to Produce Energy Efficiently* [online]. 2016 [cit. 2019-04-14]. Dostupné z: <https://www.giz.de/fachexpertise/downloads/2016-en-energy-cogeneration-trigeneration-guide.pdf>
- [11] FIEDLER, Jan. *Výhody a omezení malých kogeneračních jednotek* [online]. 2011 [cit. 2019-04-14]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/7866-vyhody-a-omezeni-malych-kogeneracnich-jednotek>
- [12] POSPÍŠIL, Jiří a Jan FIEDLER. *Systémy společné výroby elektrické energie, tepla a chladu* [online]. 2010 [cit. 2019-03-04].
- [13] *Stirlingův motor. Stirlingův moto* [online]. 2010 [cit. 2019-02-16]. Dostupné z: <http://stirlingmotor.cz/>
- [14] HROMÁDKO, Jan. *Speciální spalovací motory a alternativní pohony: Komplexní přehled problematiky pro všechny typy technických automobilních škol*. U Průhonu 22, Praha 7: Grada Publishing a.s., 2012. ISBN 978-80-247-4455-1.
- [15] ŠKORPÍK, Jiří. *Stirlingův motor* [online]. b.r. [cit. 2019-04-25]. Dostupné z: <http://www.transformacni-technologie.cz/33.html>
- [16] *Stirlingův motor. Wikipedia* [online]. [cit. 2019-04-25]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Stirling%C5%AFv_motor#V%C3%BDhody
- [17] *Kogenerace s parní turbínou: Oenergetice* [online]. b.r. [cit. 2019-04-05]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/technologie/kogenerace-princip-technologie-a-vyhody/>

-
- [18] MATUŠKA, Tomáš. *Teplárenské zdroje* [online]. In: . 2015 [cit. 2019-04-26].
- [19] *Organický Rankinův cyklus (ORC)* [online]. b.r. [cit. 2019-03-01]. Dostupné z: <http://www.uceeb.cz/projekty/organicky-rankinuv-cyklus-orc>
- [20] KUNC, Jan a Libor NOVÁK. *Biomasa - efektivní palivo pro ORC technologii* [online]. 2005 [cit. 2019-03-01]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/2455-biomasa-efektivni-palivo-pro-orc-technologie>
- [21] TRNOBRANSKÝ, Karel, Marei VALENTOVÁ a René DUFOUR. *Zlepšení ekonomie provozu kogeneračních jednotek využitím doprovodných technologií pro zrovnoměnění ročního odběru tepla* [online]. Praha 2: Česká energetická agentura, b.r. [cit. 2019-03-02]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/7383169-Zlepseni-ekonomie-provozu-kogeneracnich-jednotek-vyuzitim-doprovodnych-technologii-pro-zrovnomerneni-rocnioho-odberu-tepla.html>
- [22] MACHÁČKOVÁ, Adéla. *Mikroturbína pro kogenerační jednotky* [online]. 2006 [cit. 2019-03-05]. Dostupné z: <https://www.technickydenik.cz/rubriky/archiv/mikroturbina-pro-kogeneracni-jednotky15463.html>
- [23] *Capstone turbine* [online]. b.r. [cit. 2019-03-05]. Dostupné z: <https://www.capstoneturbine.com/products/c30>
- [24] *Encyklopedie fyziky: Tepelné motory* [online]. b.r. [cit. 2019-03-09]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/611-tepelne-motory>
- [25] KRBEK, Jaroslav a Bohumil POLESNÝ. *Kogenerační jednotky malého výkonu v komunálních a průmyslových tepelných zdrojích*. 1. vyd. Brno: PC-DIR, 1997. Učební texty vysokých škol. ISBN 80-214-0889-8.
- [26] *Anaerobní technologie* [online]. 2007 [cit. 2019-05-09]. Dostupné z: http://www.bioplyn.cz/at_popis.htm
- [27] UNIVERSITY, Battery a Petra ŠRUBAŘOVÁ. *Jak fungují palivové články?* [online]. b.r. [cit. 2019-03-10]. Dostupné z: <https://elektro.tzb-info.cz/elektromotory-pohony-a-stroje/16987-jak-funguji-palivove-clanky>
- [28] FIALA, Roman a Vladimír MATOLÍN. *Nové katalyzátory pro palivové články* [online]. b.r. [cit. 2019-03-10]. Dostupné z: <https://vesmir.cz/cz/casopis/archiv-casopisu/2013/cislo-7/nove-katalyzatory-pro-palivove-clanky.html>
- [29] *Reálný provoz mikrokogenerační jednotky* [online]. 2016 [cit. 2019-04-05]. Dostupné z: <https://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/technicka-zarizeni-budov/energie/realny-provoz-mikrokogeneracni-jednotky>
- [30] *Rukověť zájemce o kogenerační jednotku* [online]. 2013 [cit. 2019-03-18]. Dostupné z: <http://www.cogen.cz/data/download/356.pdf>
- [31] *Zákon o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů (energetický zákon)*. In: . 2000. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2000-458>
- [32] *Vyhláška o podmínkách připojení k elektrizační soustavě*. In: . 2016. Dostupné také z: <https://www.eru.cz/documents/10540/463080/Vyh1%C3%A1%C5%A1ka+o+podm%C3%ADnk%C3%A1ch+p%C5%99ipojen%C3%AD%20k+elektriza%C4%8Dn%C3%A1D%20soustav%C4%9B/e40a8453-37b6-4b06-848e-c4eac97a886a>
-

-
- [33] *Zákon o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon)*. In: . 2006. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2006-183>
- [34] *ČEZ distribuce* [online]. b.r. [cit. 2019-03-18]. Dostupné z: <https://www.cezdistribuce.cz/cs/pro-zakazniky/potrebuji-vyresit/mikrozdroj.html>
- [35] *Zákon o podporovaných zdrojích energie a o změně některých zákonů*. In: . 2012. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2012-165>
- [36] *Podpora a výrobní zdroje* [online]. b.r. [cit. 2019-04-26].
- [37] *Vyhláška o měření elektřiny a o způsobu stanovení náhrady škody při neoprávněném odběru, neoprávněné dodávce, neoprávněném přenosu nebo neoprávněné distribuci elektřiny*. In: . 2011. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2011-82>
- [38] *Cenové rozhodnutí Energetického regulačního úřadu*. In: . 2018. Dostupné také z: https://www.eru.cz/documents/10540/3899124/ERV_12_2018.pdf/a97d0d61-363a-4999-9592-9288725209b0
- [39] *Vyhláška o regulačním výkaznictví*. In: . 2016. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2015-262>
- [40] *Vyhláška, kterou se stanoví pravidla pro vytápění a dodávku teplé vody*. In: . 2007. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2007-194>
- [41] *Průměrné denní teploty, CHMÚ* [online]. 2018 [cit. 2019-05-02]. Dostupné z: <http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/uzemni-teploty>
- [42] REINBER, Zdeněk. *Potřeba tepla pro vytápění a ohřev teplé vody* [online]. b.r. [cit. 2019-03-23]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/47-potreba-tepla-pro-vytapani-a-ohrev-teple-vody>
- [43] *Ceník energií, ČEZ* [online]. b.r. [cit. 2019-05-02]. Dostupné z: https://www.cez.cz/cs/podpora/ceniky.html?gclid=CjwKCAjwqqrmBRAAEiwAdpDXtPbNNteIFDMBnD6IOU9v2Jp7a2csiuzVyDeV9vqLBWzjVrq0QZF_NRoChU4QAvD_BwE
- [44] MATUŠKA, Tomáš. *Úvod do zásobování teplem*, [online]. Dostupné z: http://users.fs.cvut.cz/tomas.matuska/wordpress/wp-content/uploads/2015/10/ZZT-P1-potreba_tepla_vykonu_navrh-zdroje.pdf
- [45] *Ceník-Viadrus* [online]. b.r. [cit. 2019-05-17]. Dostupné z: <http://www.kto.cz/picture/pdf/cenik-VIADRUS.pdf>
- [46] *Ceník revize plynu* [online]. b.r. [cit. 2019-04-26]. Dostupné z: <http://www.daf-innova.cz/servis-a-revize/revize-plynu/cenik-revizi-plynu>
- [47] *Komíny.cz - ceník služeb* [online]. b.r. [cit. 2019-04-26]. Dostupné z: <http://www.kominy.cz/cenik/>
- [48] HODBOŘ, Josef. *Objem akumulční nádrže ke kotli* [online]. 2017 [cit. 2019-05-18].
- [49] *Bazény a vše kolem stavby bazénu* [online]. 2012 [cit. 2019-05-03]. Dostupné z: <http://bazeny.wikina.cz/podminky-pro-vystavbu-bazenu/zdroj-tepla/>
- [50] JANDUS, Tadeáš. *Aplikace kogenerační jednotky v rodinném domě*. 2016. Dostupné také z: <https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/68517/F3-BP-2017-Jandus-Tadeas-jandus.pdf?sequence=-1>. ČVUT v Praze.
-

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

| Symbol | Veličina | Jednotka |
|-------------------|---|---------------------|
| KVET | Kombinovaná výroba elektřiny a tepla | |
| KJ | Kogenerační jednotka | |
| CZT | Centrální zásobování teplem | |
| DS | Distribuční síť | |
| DZT | Decentralizovaná zásoba teplem | |
| σ | Modul teplárenské výroby | [-] |
| PJ | Primární jednotka | |
| ORC | Organický Rankinův cyklus | |
| TUV | Teplá užitková voda | |
| RD | Rodinný dům | |
| kW _e | Kilowatt elektrických | |
| kW _t | Kilowatt tepelných | |
| ERU | Energetický regulační úřad | |
| MPO | Ministerstvo průmyslu a obchodu | |
| Co | Oxid uhelnatý | |
| SO ₂ | Oxid siřičitý | |
| NO _x | Oxid dusíku | |
| Q _r | Celková roční potřeba tepla | [MWh] |
| Q _{50%} | Množství tepla dodané KJ při výkonu 50% | [MWh] |
| P _{50%} | Teplený výkon jednotky při výkonu 50% | [kW] |
| t | Provozní hodiyn | [hod] |
| E _{VYR} | Množství vyrobené elektřiny | [kWh] |
| C _I | Celkové investiční náklady | [Kč] |
| C _{KJ} | Cena za kogenerační jednotku | [Kč] |
| C _{SÚ} | Cena za stavební úpravy | [Kč] |
| C _{AN} | Cena za akumulaci nádrží | [Kč] |
| C _{NP} | Provozní náklady | [Kč] |
| V _{KJ} | Objem spotřebovaného plynu | [kWh] |
| S _{ZP} | Spotřeba zemního plynu | [m ³ /h] |
| C _{ZP} | Cena za 1 m ³ zemního plynu | [Kč/kWh] |
| R _K | Revize komínu | [Kč] |
| R _{PS} | Revize plynového spotřebiče | [Kč] |
| V _{KK} | Množství plynu spotřebovaného ve špičkovacím kotli | [kWh] |
| Q _{KK,Z} | Množství tepla, které musí být dodáno ze špičkovacího kotle | [kWh] |
| η | Účinnost | [%] |

| | | |
|------------|---------------------------------|-----------------------|
| $H_{s,zp}$ | Spalné teplo zemního plynu | [kWh/m ³] |
| E_{ES} | Množství spotřebované elektřiny | [kWh] |
| C_E | Cena elektřiny za 1 rok | [Kč] |
| C_{EE} | Cena elektřiny za 1 kWh | [Kč/kWh] |
| Z_E | Zisk z prodeje elektřiny | [Kč] |
| C_{VY} | Výkupní cena elektřiny za 1 kWh | [Kč/kWh] |
| C_{ZB} | Podpora ze zeleného bonusu | [Kč] |
| ZB_{ZS} | Základní sazba zeleného bonusu | [Kč/MWh] |
| ZB_{DS} | Doplňková sazba zeleného bonusu | [Kč/MWh] |

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1 – Základní sazba Zeleného bonusu

| ř./sl. | Podporovaný druh energie | Datum uvedení výroby do provozu | | Instalovaný výkon výroby [kW] | | Provozní hodiny kogenerační jednotky [h/rok] | Zelené bonusy [Kč/MWh] |
|--------|---|---------------------------------|-------------|-------------------------------|-------------|--|------------------------|
| | | od (včetně) | do (včetně) | od | do (včetně) | | |
| ř./sl. | a | b | c | f | g | k | m |
| 700 | Elektřina z KVET s výjimkou elektřiny z KVET vyrobené ve výrobně elektřiny podporované podle bodu (1) a/nebo (2.1.) cenového rozhodnutí a s výjimkou elektřiny z KVET vyrobené ve výrobně elektřiny spalující komunální odpad | - | 31.12.2019 | 0 | 200 | 3 000 | 938 |
| 701 | | - | 31.12.2019 | 0 | 200 | 4 400 | 519 |
| 703 | | - | 31.12.2019 | 200 | 1 000 | 3 000 | 571 |
| 704 | | - | 31.12.2019 | 200 | 1 000 | 4 400 | 204 |
| 706 | | - | 31.12.2019 | 1 000 | 5 000 | 3 000 | 281 |
| 707 | | - | 31.12.2019 | 1 000 | 5 000 | 4 400 | 0 |
| 709 | Elektřina z KVET vyrobená ve výrobně elektřiny současně podporované podle bodu (1) a/nebo (2.1.) cenového rozhodnutí a elektřina z KVET vyrobená ve výrobně elektřiny spalující komunální odpad | - | 31.12.2015 | 0 | 5 000 | 8 400 | 45 |

Obr. Základní sazba zeleného bonusu [38]

Příloha č. 2 – Doplnková sazba Zeleného bonusu

| ř./sl. | Podporovaný druh energie | Datum uvedení výroby do provozu | | Instalovaný výkon výroby [kW] | | Kategorie biomasy a proces využití | Zelené bonusy [Kč/MWh] |
|--------|--|---------------------------------|-------------|-------------------------------|-------------|------------------------------------|------------------------|
| | | od (včetně) | do (včetně) | od | do (včetně) | | |
| ř./sl. | a | b | c | f | g | k | m |
| 770 | Výroba elektřiny spalující čistou biomasu | 1.1.2013 | 31.12.2013 | 0 | 5 000 | O | 100 |
| 772 | Výroba elektřiny spalující (samostatně) plyn ze zplyňování pevné biomasy | 1.1.2013 | 31.12.2015 | 0 | 2 500 | O | 455 |
| 774 | Výroba elektřiny spalující bioplyn v bioplynové stanici | 1.1.2013 | 31.12.2013 | 0 | 2 500 | AF | 455 |
| 777 | Výroba elektřiny spalující důlní plyn | 1.1.2013 | 31.12.2015 | 0 | 5 000 | - | 455 |
| 778 | Výroba elektřiny spalováním komunálního odpadu nebo společným spalováním komunálního odpadu s různými zdroji energie | - | 31.12.2012 | 0 | 5 000 | - | 155 |
| 779 | Výroba elektřiny spalující (samostatně) plyné palivo s výjimkou OZE a DZ | - | 31.12.2019 | 0 | 5 000 | - | 455 |

Obr.3.2. Doplnková sazba zeleného bonusu [38]